

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Буславець Ольга Анатоліївна



УДК 621.311.1

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ РОЗРАХУНКУ
ТА АНАЛІЗУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ
ОБҐРУНТУВАННЯ ЇХ ЗМЕНШЕННЯ**

Спеціальність 05.14.02 – Електричні станції, мережі і системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Лежнюк Петро Дем'янович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри електричних станцій та систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Павловський Всеволод Віталійович,
Інститут електродинаміки НАН України, м. Київ,
старший науковий співробітник відділу
автоматизації електричних систем;

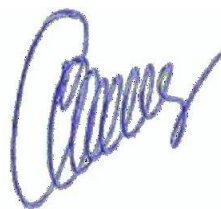
кандидат технічних наук, доцент
Довгалоюк Оксана Миколаївна
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
доцент кафедри передачі електричної енергії.

Захист відбудеться “28” грудня 2017 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.050.06 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичева, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичева, 2

Автореферат розісланий «27» листопада 2017 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



С. Ю. Шевченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У нових економічних умовах через обмеженість енергоресурсів в Україні, а також приватизацію окремих енергетичних об'єктів втрати електроенергії під час її транспортування перетворилися зі звичайного звітного показника в один з важелів керування економічною ефективністю роботи підприємств енергетичної галузі. За 2016 рік загальні технологічні витрати електроенергії на її транспортування електричними мережами Міненерго всіх класів напруг склали на рівні 16,6 млрд. кВтг або 11,7 % від загального відпуску електроенергії в мережу. Оскільки відшкодування затрат на ці втрати здійснюється через тарифи на електроенергію, то значення їх, хоча і опосередковано, носить соціальний і державний характер. Причому не залежно від форми власності джерел електроенергії та електричних мереж.

Питанням планування, а пізніше нормування, втрат електроенергії під час її транспортування завжди приділялась і приділяється значна увага. Це розглядається як підстава для розв'язання взаємозв'язаних задач: визначення втрат як складової балансу електроенергії, відшкодування затрат на них і формування заходів щодо їх зменшення. Стосовно до цього розроблялися і вдосконалювалися відповідні методи. Вони адаптувалися до змін в умовах експлуатації, апаратного, програмного та інформаційного забезпечення. На сьогодні склалися умови, які вимагають чергового перегляду методів визначення втрат електроенергії під час її транспортування та вдосконалення засобів їх зменшення. До основних нинішніх особливостей відносяться необхідність адаптуватися до вимог балансууючого ринку електроенергії і електропостачання за двосторонніми договорами, а також до можливостей Smart Grid технологій. Перше вимагає більш детальнішого аналізу причин позанормативних втрат електроенергії з приданням їм адресності та повнішого структурування втрат для збільшення ефективності заходів щодо зменшення втрат, а друге сприяє виконанню цих вимог. Тому, актуальним є розвиток методів та засобів підвищення достовірності розрахунку та аналізу технологічних витрат електроенергії для обґрунтування їх зменшення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі електропостачання та енергетичного менеджменту Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка згідно плану держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України «Розробка методів та засобів підвищення ефективності керування режимами та транспортуванням електричної енергії в електричних мережах» (ДР № 0110U002506) та плану наукових та науково-технічних розробок у сфері паливно-енергетичного комплексу Міненерговугілля «Дослідження структури і режимів споживання електроенергії в розподільних електричних мережах» (Наказ № 634 від 02.09.2013 р.).

Метою роботи є покращання ефективності функціонування електричних мереж шляхом підвищення достовірності розрахунку та аналізу технологічних витрат електроенергії для обґрунтування їх зменшення.

Для досягнення мети поставлені наступні задачі:

- аналіз шляхів підвищення достовірності розрахунків і аналізу технологічних витрат електроенергії для обґрунтування заходів щодо їх зменшення, вдосконалення інформаційного забезпечення;
- визначення навантаження трансформаторних підстанцій розрахунковим шляхом та використання навантажувальної здатності трансформаторів;
- застосування Smart Grid технологій для підвищення ефективності транспортування електроенергії в електричних мережах;
- вплив альтернативних джерел енергії на рівень втрат потужності та електроенергії в електричних мережах;
- вплив транзитних перетоків на втрати електроенергії в електричних мережах як засіб підвищення ефективності їх функціонування;
- компенсація реактивної потужності в розподільних електричних мережах;
- розвиток і вдосконалення інформаційного забезпечення задач підвищення ефективності функціонування електричних мереж.

Об'єкт дослідження – процеси зменшення технологічних витрат електроенергії в електричних мережах.

Предмет дослідження – методи і засоби підвищення достовірності розрахунку та аналізу технологічних витрат електроенергії для обґрунтування їх зменшення.

Методи дослідження. Методи математичного моделювання та чисельні методи використані для розрахунку та аналізу технологічних витрат електроенергії для обґрунтування їх зменшення; результати розрахунків аналізуються статистичними методами обробки інформації; з застосуванням методів лінійного та нелінійного програмування формуються алгоритми пошуку оптимальних розв'язків поставлених задач; впливові фактори на втрати електроенергії в електричних мережах досліджуються з застосуванням методів і програм розрахунку усталених режимів.

Наукова новизна одержаних результатів:

– вперше з використанням математичного моделювання та результатів натурного експерименту розроблено метод оцінювання впливу інформаційного забезпечення на техніко-економічну ефективність електроощадних заходів в електричних мережах, що дозволяє обґрунтовано розвивати інформаційну інфраструктуру розподільних електричних мереж з застосуванням Smart Grid технологій;

– вдосконалено метод визначення максимального навантаження трансформатора з використанням характерних графіків навантажень та його навантажувальної здатності, яка визначається у відповідності з його залишковим ресурсом, що дозволяє більш обґрунтовано використовувати його регульовальні можливості для зменшення втрат електроенергії в електричній мережі;

– обґрунтовано доцільність переходу на нову технологічну платформу в електроенергетиці, яка базується на принципах Smart Grid, що дозволяє

вдосконалити оптимальне керування потоками потужності в електричних мережах та підвищити енергоефективності систем електропостачання.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність роботи полягає в тому, що на підставі виконаних досліджень визначені способи підвищення ефективності функціонування електричних мереж шляхом вдосконалення методів розрахунку та аналізу технологічних витрат електроенергії. Зокрема: запропоновано алгоритм визначення максимального навантаження трансформаторних підстанцій розрахунковим шляхом, розроблена методика оцінки взаємовпливу електричних мереж різної напруги і визначення втрат електроенергії від транзитних потоків, розроблена методика оцінювання впливу інформаційного забезпечення на ефективність заходів щодо зменшення втрат електроенергії (на прикладі компенсації реактивної потужності та визначення і зменшення транзитних втрат електроенергії).

На основі отриманих у роботі результатів вдосконалено програмний комплекс інтелектуальної підтримки розроблення електроощадних заходів в розподільних електричних мережах передано для промислової експлуатації в ПАТ «Вінницяобленерго» (акт про впровадження від 04.10.2016 р.). За результатом НДР «Дослідження структури і режимів споживання електроенергії в розподільних електричних мережах» розроблено «Альбом типових графіків електричних навантажень» для широкого кола споживачів, який затверджено наказом Міненерговугілля України № 267 від 06.04.2017 р.

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати, які виносяться на захист, одержані здобувачем особисто. Серед них – виконання основного об'єму теоретичних і експериментальних досліджень, викладених у дисертаційній роботі, включаючи розроблення математичних моделей, участь у проведенні досліджень, аналізі і оформленні результатів у вигляді наукових публікацій та доповідей.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародних науково-технічних конференціях: «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (Харків, 2014, 2015); «Оптимальне керування електроустановками» (Вінниця, 2015); «Проблеми сучасної електротехніки» (Київ, 2016); International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (Київ, 2016); «Відновлювальна енергетика XXI століття» (Київ, 2016); «Електричні мережі енергосистем з нетрадиційними і відновлюваними джерелами енергії», (Вінниця, 2016); «Повышение энергоэффективности и надежности энергосистем и электросетей Украины» (Харків, 2016).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 13 робіт, з них: 7 статей у наукових фахових виданнях України, що включені до наукометричних баз даних, одна з них у виданні України, яке включено до міжнародної наукометричної бази SCOPUS, а також 5 статей в інших виданнях України та 1 стаття у збірнику матеріалів міжнародної конференції.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та

додатків. Повний обсяг дисертації складає 167 сторінок, серед них: 27 рисунків по тексту, 11 рисунків на 7 окремих сторінках, 5 таблиць по тексту, 2 таблиці на 2 окремих сторінках, список з 103 найменувань використаних джерел на 13 сторінках, 4 додатки на 22 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі. Наведено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, а також подано відомості щодо апробації роботи, особистого внеску здобувача та публікацій. Зазначено зв'язок роботи з науковими програмами та темами.

У **першому розділі** проведено аналіз причин підвищених технологічних витрат електроенергії (ТВЕ) в електричних мережах і показана недостатня ефективність заходів щодо їх зменшення. Показана необхідність розвивати інформаційне забезпечення електричних мереж, що дозволить підвищити достовірність розрахунків та аналізу ТВЕ для обґрунтування заходів їх зменшення.

Для зменшення рівня звітних ТВЕ в електричних мережах (ЕМ) 10(6) кВ в умовах, коли можливості вдосконалення комерційних взаєморозрахунків практично вичерпані, необхідно розробляти заходи щодо зменшення технічних втрат електроенергії. Враховуючи принципову складність задачі, необхідно переглянути заходи з вдосконалення інформаційної інфраструктури розподільних ЕМ у напрямку залучення розвиненої інфраструктури автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) та корпоративних баз даних.

Запропонований комплексний підхід для аналізу навантажувальних втрат електроенергії в розподільних ЕМ 10(6) кВ може використовуватися для розв'язання задач планування технічних та організаційних заходів щодо їх зменшення на рівні енергопостачальних компаній, а також для розв'язання задачі організації вимірювального середовища АСКОЕ в електромережах.

Для забезпечення адекватності розрахункових моделей електричних мереж, що використовуються для визначення змінних втрат електроенергії, доцільно використовувати натурно-імітаційний підхід, тобто залучати інформацію, сформовану засобами корпоративних баз даних енергопостачальних компаній. Відслідковування і врахування динаміки електричної мережі (зміна топології, положення комутаційних апаратів, тощо) в розрахунковій моделі втрат електроенергії дозволяє оцінювати вплив на них зміни експлуатаційних умов, в тому числі обмеження електроспоживання.

За результатами аналізу літературних джерел уточнено задачі наукового дослідження.

Другий розділ присвячено аналізу і визначенню впливу силових трансформаторів як елементів, що формують основну складову втрат електроенергії в електричних мережах. Запропоновано метод визначення максимального навантаження трансформаторних підстанцій (ТП)

розрахунковим шляхом, що сприяє більш точно визначити втрати електроенергії в електричних мережах. Показано, що використання графіків навантаження ТП в розрахунках режимів ЕМ дозволяє точніше здійснювати пофідерний аналіз втрат і відповідним чином реагувати на них.

Реальна навантажувальна здатність трансформаторів і автотрансформаторів залежить від їх технічного стану та багатьох зовнішніх чинників (графіків навантаження, температури навколишнього середовища, умов експлуатації, тощо). Для того, щоб ефективно використовувати трансформатори і автотрансформатори з регулюванням під навантаженням (РПН) в оптимальному керуванні потоками потужності в електроенергетичних системах (ЕЕС) з метою зменшення втрат електроенергії під час її передавання, необхідно знати їх поточну навантажувальну здатність.

Навантажувальна здатність трансформаторів і автотрансформаторів залежить від технічного стану їх системи охолодження, який в процесі експлуатації може суттєво змінюватися. Розроблена математична модель прогнозованої температури верхніх шарів оливи, яка серед інших параметрів, враховує залишкового ресурсу охолоджувачів. Для оцінювання технічного стану системи охолодження трансформаторів використовуються засоби нейронечіткого моделювання, завдяки чому враховуються функціональні зв'язки між впливовими факторами. Розроблено нейронечітку модель навантажувальної здатності трансформатора в залежності від його коефіцієнта ресурсу. Допустиме навантаження трансформатора визначається в залежності від його коефіцієнта ресурсу, температури повітря, часу навантаження та обмежується максимальною допустимою температурою верхніх шарів оливи.

Показано, що максимальне використання навантажувальної здатності трансформатора, якщо він задіяний в складі автоматизованої системи керування режимом ЕЕС, достатньо просто реалізується через механізм встановлення відповідної зони нечутливості спрацювання РПН. З метою забезпечення економного використання ресурсу трансформаторів з РПН оптимізовано вибір трансформаторів, які приймають участь в реалізації керуючих впливів, шляхом визначення відповідних коефіцієнтів трансформації і їх впливу на критерій оптимальності. Координація роботи трансформаторів в системі оптимального керування потоками потужності в ЕЕС здійснюється налагоджувальними параметрами і зонами нечутливості системи автоматичного керування (САК), які визначаються з врахуванням навантажувальної здатності трансформаторів.

Максимальне навантаження трансформатора із необхідною точністю може бути визначене на підставі результатів вимірювань відповідно до викладеного. Використання характерних графіків навантажень (ХГН) спрощує визначення максимальних навантажень трансформаторних підстанцій. Необхідною умовою для цього є наявність актуальних ХГН всіх споживачів, приєднаних до трансформаторної підстанції. На підставі ХГН визначаються розрахунковим шляхом також струми в ЛЕП, втрати електричної енергії в елементах електричної мережі та рівні напруги у споживачів.

Розроблені типові графіки навантажень можуть використовуватись

операторами системи передачі та розподілу електроенергії, проектними організаціями для:

- виконання електричних розрахунків в розподільних електричних мережах, обчислення резерву потужності трансформаторних підстанцій, обчислення втрат енергії та напруги в елементах електричних мереж, обчислення максимального навантаження трансформаторних підстанцій, керування режимами електроспоживання та режимами роботи розподільних електричних мереж;

- адміністраторами комерційного обліку, регулятором для розробки тарифних планів (пакетів) для різних груп споживачів, як довідковий матеріал у «Кодексі комерційного обліку»;

- споживачами електричної енергії для мінімізації витрат на електричну енергію.

В **третьому розділі** розглянуто особливості і переваги Smart Grid технологій для підвищення ефективності транспортування електроенергії в електричних мережах. Як приклад, показано доцільність використання Smart Grid технологій для розв'язання задач оптимального керування потоками потужності в розподільних електричних мережах з відновлюваними джерелами електроенергії (ВДЕ), транзитними перетоками, а також перетіканням реактивної потужності в електричних мережах.

Модернізація сучасних систем електропостачання з розвитком відновлюваних джерел електроенергії і обмеженням централізованого електропостачання тісно пов'язана з Smart Grid технологіями. Техніко-економічний ефект від впровадження ВДЕ може бути досягнутий шляхом узгодження в часі оптимізації процесів вироблення, транспортування і споживання електроенергії. Електричні мережі за рахунок локальних систем керування, самоналагодження та самодіагностування можуть здійснювати регулювання постачанням електроенергії в залежності від режиму її споживання, але за умови достатнього інформаційного забезпечення. За допомогою сучасних інформаційно-комунікаційних технологій «розумні» мережі забезпечать інформаційне сполучення централізованого електропостачання, а також споживачів електроенергії з ВДЕ.

Важливою особливістю Smart Grid є можливість для постачальників електроенергії контролювати роботу електроустановок споживачів, тобто дистанційно регулювати споживання електроенергії, зсуваючи його в часі й «підганяючи» під оптимальний графік сукупного генерування. У перспективі за рахунок гнучких зворотних зв'язків з використанням комунікаційних мереж можливе керування режимами роботи окремих електроустановок споживачів з метою адаптування режимів споживання під нестабільне генерування ВДЕ. Переваги такого підходу очевидні.

На рис. 1 показано як формується баланс потужності в локальній електричній системі (ЛЕС) з комбінованим електропостачанням. Поступлення електроенергії здійснюється від внутрішніх джерел (електростанцій вітрових (ВЕС) і сонячних (СЕС), малих гідроелектростанцій (ГЕС), когенераційних

(КГУ) і біогазових (БГУ) установок) та джерел централізованого живлення. Навантаження трансформаторних підстанцій складається з навантаження споживачів і генерування джерел електроенергії, які знаходяться у них на балансі.

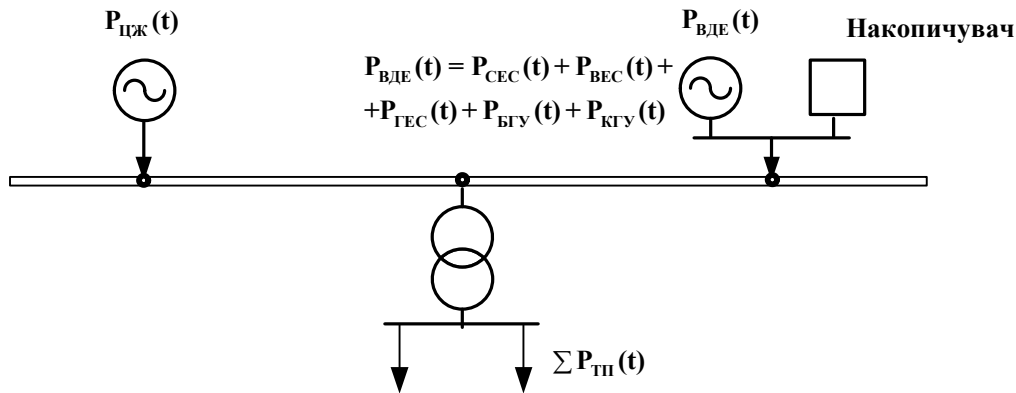


Рисунок 1 – Баланс потужності в локальній електричній системі

Зі зростанням обсягу генерування ВДЕ в електричних мережах актуальною стає задача мінімізації на інтервалі часу $t_0 - t_k$ відхилень від заданого системним оператором графіка генерування в за обмежень на первинні енергоресурси та характеристики ВДЕ. Вона формулюється наступним чином

$$\int_{t_0}^{t_k} \frac{1}{2} \left(P_{ВДЕ}(t) - \sum_{i=1}^n P_i(t) \right)^2 dt \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $P_{ВДЕ}(t)$ – заданий (заявлений) графік сумарного генерування ВДЕ, $\sum_{i=1}^n P_i(t)$ – поточне сумарне генерування ВДЕ, n – кількість керованих ВДЕ в ЛЕС.

В такій формі задача (1) розв'язується, коли планується робота ВДЕ за графіком, заявленим оператору системи розподілу електроенергії. В ЛЕС для надійного та якісного електропостачання споживачів має підтримуватися баланс потужності

$$P_{ЦЖ}(t) + \sum_{i=1}^n P_i(t) - \sum_{j=1}^m P_{ТП j}(t) - \Delta P(t) = 0, \quad (2)$$

де $P_{ЦЖ}(t)$ – потужність, яка передається в ЛЕС від централізованих джерел електроенергії, $P_{ТП i}(t)$ – навантаження трансформаторних підстанцій (ТП), m – кількість ТП, $\Delta P(t)$ – ТВЕ в електричних мережах ЛЕС.

З (2) визначається потужність централізованого живлення ЛЕС. Потужність $P_{ЦЖ}(t)$ в залежності від внутрішнього балансу потужності в ЛЕС може бути зі знаками плюс або мінус. В першому випадку централізоване живлення є резервом генерування в ЛЕС, а в другому – ЛЕС віддає надлишок електроенергії в ЕЕС. Необхідною умовою визначення $P_{ЦЖ}(t)$ є підтримування з заданою точністю генерування ВДЕ в ЛЕС (ідеально мало б бути $P_{ВДЕ}(t)$ –

$\sum_{i=1}^n P_i(t)=0$). При цьому має враховуватися прогнозна інформація щодо метеопараметрів, яка надається відповідною підсистемою автоматизованою системою керування (АСК) і дозволяє достатньо адекватно відтворювати стани керованих ВДЕ на наступну добу. За рахунок цього умовно-керовані та нестабільні джерела енергії типу ВЕС та СЕС в цільових функціях та обмеженнях задач оптимального керування представляються математичним сподіванням часових залежностей генерування $M_{\text{ВЕС}}\{P(t)\}$, $M_{\text{СЕС}}\{P(t)\}$, $t \in [t_0; t_k]$.

Забезпечення оптимальності процесу генерування, розподілу та споживання електроенергії з урахуванням особливостей ВДЕ у реальному часі крім потужних комунікаційних можливостей розосередженої системи керування вимагає залучення відповідних підходів щодо формування керувальних впливів та законів керування окремими джерелами електроенергії з урахуванням специфіки їх керованості та спостережності. Як приклад, такої системи можна навести систему керування ЛЕС з ВДЕ, яка використовується у «Вінницяобленерго». Особливістю цієї системи керування є те, що вона відкрита для доповнення новими функціями і розширення можливостей. На сьогодні вона доповнена блоком, в якому використовуються типові графіки навантаження і реалізована методика визначення максимального навантаження ТП для прогнозування балансу потужності в ЛЕС і визначення ТВЕ в електричних мережах. Для підтримування балансу потужності в ЛЕС і генерування ВДЕ, зокрема СЕС, за графіком, узгодженим з оператором по розподілу електроенергії, запропоновано АСК «Energy Storage» накопичувачами електроенергії.

Останнім часом суттєво покращується інформаційне забезпечення електричних мереж енергосистем. Впровадження сучасних оперативно-інформаційних керуючих комплексів (ОІКК) та програмного забезпечення дозволяють ставити нові задачі щодо планування і реалізації оптимальних режимів. Уточнюються розрахункові моделі визначення і планування (нормування) втрат електроенергії в електричних мережах. Одним з напрямків вдосконалення методики планування втрат електроенергії в нових умовах є визначення втрат від транзитних перетоків і придання їм адресності.

Електричні мережі передавальних компаній та постачальників об'єднані на паралельну роботу, що через їхню неоднорідність ускладнює передачу електроенергії. Це проявляється у взаємовпливі режимів магістральних і розподільних мереж, що негативно позначається на перетіканнях потужностей між електричними мережами різної напруги систем, а також на адресних перетіканнях потужності за двосторонніми договорами. Результатом взаємовпливу режимів електричних мереж є додаткові втрати електроенергії, які необхідно враховувати під час розв'язання задачі визначення ціни за електроенергію для кожного споживача з врахуванням втрат потужності при її передачі цьому споживачу від різних незалежних виробників енергії. Тобто перехід до нової концепції функціонування та розвитку ринку електричної

енергії передбачає розподіл втрат потужності між споживачами, залежно від їх впливу на режими роботи електричної мережі, з метою врахування їх у тарифах на електроенергію.

Одним зі шляхів розв'язання цієї задачі є визначення технічних витрат електроенергії в електричних мережах від адресних перетікань потужності. Це значення може бути закладене у двосторонніх договорах з метою отримання обґрунтованої структури прогнозних та звітних значень ТВЕ в електричних мережах постачальників за відповідний розрахунковий період на основі офіційних звітних даних про технічні параметри елементів мереж та структуру балансу електроенергії.

На сьогодні, нормативні характеристики ТВЕ в електричних мережах розробляються на основі звітних технічних даних електричних мереж за базовий рік та схем нормального режиму електричної мережі кожного ступеня напруги на розрахунковий період, у якій враховані заплановані на цей період заходи зі зниження ТВЕ, та не залежить від режимних факторів та обсягів передачі електроенергії. Заплановані характеристики ТВЕ є постійними для розрахункового періоду (року), для якого вона розроблена. Розроблення характеристик ТВЕ електричних мереж ступенів напруги 110 і 150 кВ, особливо у разі наявності у них замкнених контурів, доцільно виконувати у вигляді розрахункової схеми мережі і технічних даних ЛЕП та трансформаторів кожного ступеня напруги.

Обчислення технічних розрахункових втрат електроенергії у структурі ТВЕ за розрахунковий період у кожній ділянці ЛЕП та кожному трансформаторі електричних мереж ступенів напруги 110 і 150 кВ (поелементний розрахунок) виконуються на підставі конкретних нееквівалентованих параметрів цих елементів, обсягів перетікання активної і реактивної енергії через ці елементи, фактичних значень напруг чи підтверджених офіційно електроенергетичною системою даних про середньоексплуатаційні рівні напруги в усіх центрах живлення, а також з врахуванням втрат електроенергії в інших елементах мережі.

Враховуючи існуючий підхід до розроблення характеристик ТВЕ для обчислення розрахункових втрат електроенергії в електричних мережах від транзитних перетікань потужності можна скористатись методом, який дозволяє визначити, від яких джерел електроенергії (незалежних виробників електроенергії) та у якій кількості передається електроенергія до заданого вузла (споживача). По суті, задача визначення складової втрат електроенергії від адресних перетікань є задачею визначення відповідних складових у вітках мережі, якими передається адресна електроенергія за двосторонніми договорами. Показано, що втрати у вітках схеми мережі залежно від потужності у вузлах мережі \dot{S} визначаються

$$\Delta \dot{S}_B = \dot{A}_{KT} \dot{S} + \Delta \dot{S}_{нб}, \quad (3)$$

де $\Delta \dot{S}_a = \Delta P_a + j \Delta Q_a$ – вектор втрат повної (активної і реактивної) потужності у

вітках, $\Delta \dot{S}_{\text{нб}}$ – вектор-стовпець втрат потужності у вітках схеми від е.р.с. незбалансованих коефіцієнтів трансформації, \dot{A}_{KT} – матриця коефіцієнтів розподілу втрат потужності у вітках заступної схеми в залежності від потужностей у її вузлах з врахуванням коефіцієнтів трансформації трансформаторних зв'язків.

Кожний рядок матриці \dot{A}_{KT} , який містить коефіцієнти розподілу втрат потужності для i -ої вітки заступної схеми від потужності у її вузлах, визначається за формулою:

$$\dot{A}_{KT} = (\dot{U}_t \mathbf{M}_{ki}) \hat{C}_{ki} \dot{U}_o^{-1}, \quad (4)$$

де \dot{U}_t , \dot{U}_o – транспонований вектор і діагональна матриця напруг у вузлах включаючи і базисний; $\mathbf{M}_{ki} = \mathbf{M}_{kATi} + \mathbf{M}_{kKTi}$ – i -й стовпець матриці з'єднань віток у вузлах \mathbf{M}_k , в якій для віток з трансформаторами замість значень «-1» містяться значення їх коефіцієнтів трансформації; \hat{C}_{ki} – i -й рядок матриці струморозподілу $\dot{C}_k = \mathbf{z}_e^{-1} \mathbf{M}_{kt} (\hat{\mathbf{M}}_k \mathbf{z}_e^{-1} \mathbf{M}_{kt})^{-1}$ з врахуванням трансформаторних зв'язків; $\mathbf{z}_e = \mathbf{r}_e + j\mathbf{x}_e$ – діагональна матриця опорів віток (знак \wedge означає, що матриця або вектор є спряжені, t – що транспоновані).

Відмітимо, що коефіцієнти розподілу втрат залежать від значень напруги у вузлах, які визначаються навантаженнями й генеруванням у вузлах схеми, а також від параметрів схеми, які за певних допущеннях приймаються постійними, але такими вони не є, оскільки залежать від температури навколишнього середовища та навантаження. Врахування перерахованих факторів дозволяє стверджувати, що нелінійність залежності втрат від параметрів режиму зберігається.

Можливі два варіанти визначення нормативних адресних втрат електроенергії. Коли здійснюється постійний моніторинг втрат за даними ОІКК верхнього рівня і коли розрахунки втрат електроенергії виконуються на період T з використанням характеристик графіків навантажень. У першому варіанті, при зміні режиму електричних мереж. необхідно перераховувати матрицю коефіцієнтів розподілу втрат у вітках, тому що значення її елементів залежать від напруги у вузлах. При цьому, визначення матриці коефіцієнтів розподілу втрат потужності характеристики ТВЕ виконується шляхом прямого розрахунку за розрахунковий період із використанням фактичних даних про надходження енергії від різних джерел та віддачу електроенергії сусіднім ліцензіатам-передавачам та споживачам. Розрахунок ведеться з використанням інформації про потоки активної і реактивної енергії (потужності), отриманої з допомогою ОІКК. Як часто необхідно перераховувати матрицю \dot{A}_{KT} залежить від тривалості розрахункового періоду.

Для формування розрахункової моделі, за допомогою якої обчислюють матрицю коефіцієнтів розподілу втрат потужності в ЛЕП, трансформаторах та інших елементах за розрахунковий період (місяць), розробляють базовий режим

розрахункового періоду на основі параметрів елементів розрахункової схеми, що є найбільш близькою до схеми нормального режиму розрахункового періоду (місяця) за структурою навантажень та поточкорозподілу. Під час підготовки базового режиму для розрахункового періоду за основу вибирається один із характерних режимів (зимовий максимум, літній максимум, літній мінімум, паводковий режим), що розроблені на підставі даних контрольних вимірювань. Під час розробки базового режиму розрахункового місяця у розрахункову схему вибраного базового режиму необхідно внести корективи з метою врахування особливостей схеми та режиму роботи мережі у розрахунковому періоді, наприклад, відключення чи включення вузлів і віток, корекція значень напруг у вузлах основних центрів живлення та ін.

Втрати потужності (електроенергії) в електричних мережах багато в чому залежать від перетоків в них реактивної потужності. Найбільш незабезпеченими щодо компенсації потоків реактивної потужності є мережі електропередавальних організацій 110/35/10 кВ. Проаналізовано практичні питання комплексної системної компенсації реактивної потужності в електричних мережах 110/35/10 кВ електропередавальних організацій. Показано, що компенсація реактивної потужності в цих мережах є ефективним та реальним шляхом зниження ТВЕ та покращання якості електроенергії.

Втрати в елементах електричної мережі з активним опором R залежать від перетікання по ньому активної P і реактивної Q потужностей. Активна потужність може вироблятися тільки на електричних станціях і варіантів стосовно передавання її немає. За винятком, коли якась відносно невелика її частина виробляється безпосередньо у споживача, – це можуть бути ТЕЦ, нетрадиційні та відновлювані джерела енергії, які знаходяться на балансі у споживача. Інша справа з реактивною потужністю. Вона може вироблятися як на електричних станціях, так і джерелами реактивної потужності (ДРП), встановленими безпосередньо біля місця її споживання.

Розглянуто основні позиції, згідно з якими виконувалися оптимізаційні розрахунки для вибраних електропередавальних організацій (ЕО). Показано, що в методологію оптимізації розподілу реактивних потужностей в електричних мережах ЕО доцільно ввести такий елемент як комплексну системну компенсацію (КСК). Елементом КСК є сукупність засобів, які безпосередньо пов'язані між собою і «керують» режимом перспективного вузла по реактивній потужності та напрузі.

В склад елемента КСК (рис. 2) входить вузловий компенсуючий пристрій ($Q_{\text{КП}}$), регульований (РПН) коефіцієнт трансформації трансформатора, що живить цей вузол безпосередньо ($T3$), і регульований коефіцієнт трансформації зустрічної дії ($T2$).

В процесі оптимізації елемент КСК реалізується як єдиний регулювальний орган, що відповідає практичній експлуатаційній технології диспетчерського керування режимами. Таким чином, оптимальний режим напруги регулюється елементами КСК, а в зонах за межами їхньої дії додатково системними трансформаторами ($T1$). Введення в методологію оптимізації елемента КСК

дозволить автоматизувати процес цілеспрямованого вибору можливих (перспективних) місць установлення КП згідно відповідного режимного критерію.

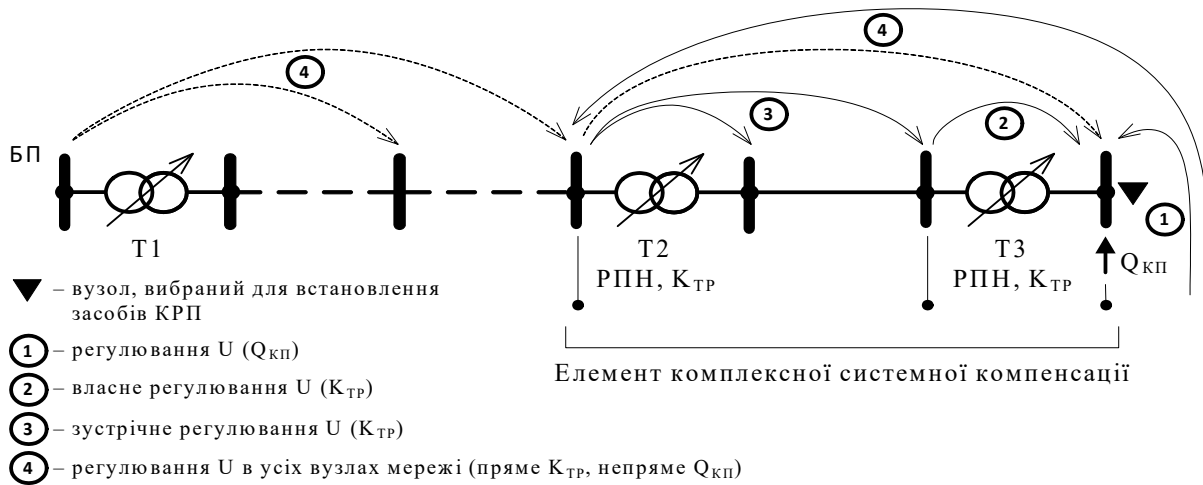


Рисунок 2 – Елемент комплексної системної оптимізації режиму по реактивній потужності та напрузі

Четвертий розділ присвячено підвищенню ефективності керування режимами електричних мереж на основі моніторингу їх параметрів і навколишнього середовища. Показано залежність втрат електроенергії в електричних мережах від температури навколишнього середовища та обґрунтована можливість уточнення розрахункових значень втрат електроенергії шляхом використання результатів моніторингу параметрів мережі. Приведено розрахунки щодо планування та оцінювання ефективності заходів зменшення втрат електроенергії в мережах. Показано залежність ефективності заходів щодо зменшення втрат від повноти інформаційного забезпечення.

Як показує аналіз для підвищення ефективності керування режимами ЕЕС у рамках концепції Active Smart Grid Analytics необхідний безперервний моніторинг температурного режиму ПЛ, особливо це важливо для визначення ТВЕ при плануванні режиму на наступну добу. Моніторинг ПЛ дозволяє контролювати їх реальний технічний стан, розробляти заходи щодо підвищення пропускної здатності, а також контролювати рівень технічних втрат електроенергії ПЛ з врахуванням їх реальних значень параметрів.

Вираз для визначення втрат електроенергії на i -му інтервалі з урахуванням температури проводів залежно від параметрів навколишнього середовища має вигляд

$$\Delta W_{н} = 3 R_{20} (1 + \alpha(\theta_{np}^o - 20)) \Delta t I_1^2. \quad (5)$$

За діапазону температури нагріву проводів ПЛ від -20 до $+90$ опір R приймає значення від 84 до 120% R_{20} . Тобто, похибка визначення втрат електроенергії за (5), викликана неточним представленням в розрахунках значення R , які приймаються постійними, може бути суттєвою. Очевидно, що

ця похибка переноситься на рішення задач, де враховуються втрати електроенергії. Зокрема, це стосується задач планування та реалізації заходів щодо зменшення втрат електроенергії під час її передавання та розподілу в ЕМ.

На рис. 3, як приклад, показано як змінюється опір однієї з ЛЕП Ямпільських РЕМ протягом доби.

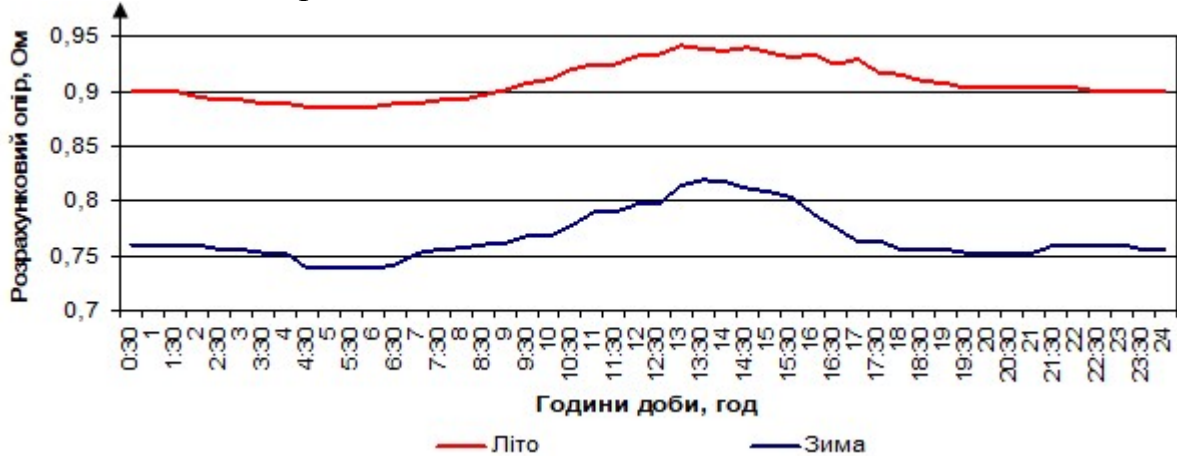


Рисунок 3 – Порівняння опорів ЛЕП, якою СЕС видає електроенергію протягом характерних зимової та літньої доби

Очевидно, що зміна опорів проводів відображається на значенні сумарних втрат електроенергії в електричній мережі. На рис. 4 наведено результати розрахунків трьох випадків: розрахунок з опорами проводів за температури 20 °С, розрахунки з опорами проводів при середніх температурах літа і зими. В першому випадку сумарні втрати електроенергії складають 14,5%, а в інших – відповідно 14,76% і 13,19%. Тобто, навантажувальні втрати електроенергії в електричних мережах залежать від температури навколишнього середовища і, обираючи заходи по зменшенню втрат електроенергії, необхідно з цим рахуватися.

Для оцінки впливу вихідних даних на значення втрат електроенергії в електричних мережах і обґрунтування заходів для їх зменшення виконано розрахунки режимів Ямпільських РЕМ. Результати розрахунків приведено в табл. 1 і 2.

Аналізуючи наведені дані можна зробити висновки, що погіршення якості вихідних даних призводить до недорахування втрат електроенергії в мережах, а отже, невірної інтерпретації структури балансу електроенергії в них. Відсутність врахування графіків генерування та навантаження значно зменшує точність врахування втрат в ЛЕП 10 кВ (відхилення більше за 35%) та в ЛЕП 0,4 кВ (відхилення більше за 5%). Неврахування розподілу навантаження між трансформаторними підстанціями розподільних мереж додатково погіршує точність визначення втрат електроенергії. Так, відхилення розрахункових втрат для ЛЕП 10 кВ становить близько 40 %, а для ЛЕП 0,4 кВ – перевищує 25%. Перехід від середніх потужностей до імітації графіків навантажень підвищує якість оцінювання балансу електроенергії, зменшуючи відхилення між балансовими та технічними розрахунковими втратами.

Загальна інформація		Розподіл втрат по підстанціях	
Підстанція:	-		
Фідер:	-		
Задане надходж. (з урах. місц. ген):	934.24 тис кВт*год	Корисний відпуск:	794.90 тис кВт*год
Задане надходж. з урах. вн. перет.:	934.24 тис кВт*год	Балансові ТВЕ:	139.34 тис кВт*год
Розр. надходж. споживачам ЕМ:	941.95 тис кВт*год	Розрахункові ТВЕ:	147.05 тис кВт*год
Параметр	Значення, а.о.	Значення, %	
Втрати електроенергії			
У лініях 10 кВ:	22106.9	2.35	
У трансформ. 10(6)/0,4 кВ:	26988.8	2.87	
- навантажувальні:	3351.9	0.36	
- неробочого ходу:	23636.9	2.51	
У мережах 0,4 кВ:	87464.0	9.29	
Сумарні втрати електроенергії:	136559.7	14.50	
>>Абонентські електричні мережі			
Втрати електроенергії			
У лініях 10 кВ:	0.0	0.00	
У трансформ. 10(6)/0,4 кВ:	10494.4	1.11	
у мережах 0,4 кВ:	0.0	0.00	
Сумарні втрати електроенергії:	10494.4	1.11	

а)

Загальна інформація		Розподіл втрат по підстанціях	
Підстанція:	-		
Фідер:	-		
Задане надходж. (з урах. місц. ген):	934.24 тис кВт*год	Корисний відпуск:	794.90 тис кВт*год
Задане надходж. з урах. вн. перет.:	934.24 тис кВт*год	Балансові ТВЕ:	139.34 тис кВт*год
Розр. надходж. споживачам ЕМ:	944.88 тис кВт*год	Розрахункові ТВЕ:	149.98 тис кВт*год
Параметр	Значення, а.о.	Значення, %	
Втрати електроенергії			
У лініях 10 кВ:	22606.4	2.39	
У трансформ. 10(6)/0,4 кВ:	26989.5	2.86	
- навантажувальні:	3352.7	0.35	
- неробочого ходу:	23636.9	2.50	
У мережах 0,4 кВ:	89892.8	9.51	
Сумарні втрати електроенергії:	139488.8	14.76	
>>Абонентські електричні мережі			
Втрати електроенергії			
У лініях 10 кВ:	0.0	0.00	
У трансформ. 10(6)/0,4 кВ:	10490.2	1.11	
у мережах 0,4 кВ:	0.0	0.00	
Сумарні втрати електроенергії:	10490.2	1.11	

б)

Загальна інформація		Розподіл втрат по підстанціях	
Підстанція:	-		
Фідер:	-		
Задане надходж. (з урах. місц. ген):	934.24 тис кВт*год	Корисний відпуск:	794.90 тис кВт*год
Задане надходж. з урах. вн. перет.:	934.24 тис кВт*год	Балансові ТВЕ:	139.34 тис кВт*год
Розр. надходж. споживачам ЕМ:	927.82 тис кВт*год	Розрахункові ТВЕ:	132.93 тис кВт*год
Параметр	Значення, а.о.	Значення, %	
Втрати електроенергії			
У лініях 10 кВ:	19218.5	2.07	
У трансформ. 10(6)/0,4 кВ:	26980.2	2.91	
- навантажувальні:	3343.4	0.36	
- неробочого ходу:	23636.9	2.55	
У мережах 0,4 кВ:	76223.4	8.22	
Сумарні втрати електроенергії:	122422.1	13.19	
>>Абонентські електричні мережі			
Втрати електроенергії			
У лініях 10 кВ:	0.0	0.00	
У трансформ. 10(6)/0,4 кВ:	10505.3	1.13	
у мережах 0,4 кВ:	0.0	0.00	
Сумарні втрати електроенергії:	10505.3	1.13	

в)

Рисунок 4 – Результати розрахунку з урахуванням впливу температури навколишнього середовища на активні опори ЛЕП: а – опорами проводів за температури 20 °С, б – літо, в – зима

Таблиця 1 – Результати визначення втрат в розподільній мережі

Умови розрахунку	Розрахункові втрати електроенергії, тис. кВт год			
	В ЛЕП 10 кВ	В трансформаторах	В ЛЕП 0,4 кВ	Сумарні
Розрахунок втрат за характерним режимом (середніх навантажень)				
Задано надходження електроенергії на головних ділянках фідерів	14,0 (1,5%)	26,1 (2,9%)	65,1 (7,2%)	105,2 (11,6%)
Задано коефіцієнти завантаження ТП	14,4 (1,5%)	26,8 (2,9%)	82,9 (8,9%)	124,1 (13,4%)
Розрахунок втрат з імітацією режимів за графіками навантаження				
Враховуються графіки генерування	21,7 (2,3%)	26,8 (2,9%)	83,4 (8,9%)	131,9 (14,1%)
Враховуються графіки навантаження	15,3 (1,6%)	26,9 (2,9%)	87,3 (9,3%)	129,5 (13,9%)
Враховуються графіки навантаження та генерування	22,4 (2,4%)	26,9 (2,9%)	87,3 (9,3%)	136,6 (14,5%)
Розрахунок втрат з урахуванням температури ЛЕП				
Враховується температура проводів ЛЕП (липень)	22,6 (2,4%)	26,9 (2,9%)	89,9 (9,5%)	139,5 (14,8%)
Враховується температура проводів ЛЕП (січень)	19,2 (2,1%)	26,9 (2,9%)	76,2 (8,2%)	122,4 (13,2%)

Таблиця 2 – Результати оптимізації нормальної схеми

Умови розрахунку	Розрахункові втрати електроенергії, тис. кВт год			
	В ЛЕП 10 кВ	В трансформаторах 10/0,4 кВ	В ЛЕП 0,4 кВ	Сумарні
Оптимізація нормальної схеми за характерним режимом (середніх навантажень)				
Вихідна схема (розрахунок за надходженням електроенергії та коефіцієнтами завантаження)	14,4	26,8	82,9	124,1
Оптимізована схема (розрахунок за надходженням електроенергії та коефіцієнтами завантаження)	13,2	26,4	69,8	109,4
Оптимізована схема (розрахунок за графіками навантаження)	20,3	26,9	87,1	134,4
Оптимізація нормальної схеми за графіками навантаження/генерування				
Вихідна схема (розрахунок за графіками навантаження)	22,4	26,9	87,3	136,6
Оптимізована схема (розрахунок за графіками навантаження)	15,1	26,9	87,5	129,6
Оптимізована схема (розрахунок за надходженням електроенергії та коефіцієнтами завантаження)	14,4	26,8	83,1	124,4
Оптимізація нормальної схеми з урахуванням температури проводів ЛЕП				
Вихідна схема (розрахунок з урахуванням температури)	17,0	26,4	73,1	116,6
Оптимізована схема (розрахунок з урахуванням температури)	13,3	26,4	70,9	110,7

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено нове вирішення актуальної задачі підвищення ефективності функціонування електричних мереж шляхом збільшення достовірності результатів розрахунку та аналізу технологічних витрат електроенергії для обґрунтування їх зменшення.

До основних результатів роботи відносяться:

1. Модернізація електроенергетики на основі концепції Smart Grid дозволяє суттєво покращити керованість процесів генерування, транспортування та розподілу електроенергії. В роботі показано, що завдяки використанню елементів Smart Grid можливо вдосконалити оптимальне керування потоками потужності в електричних мережах, підвищити надійність, якість та економічність систем електропостачання.

2. Необхідною умовою ефективності оптимального керування потоками потужності і зменшення технологічних витрат електроенергії в електричних мережах є забезпечення методів розрахунку та аналізу результатів достовірними вихідними даними. Для цього потрібно впроваджувати в електричні мережі сучасні засоби моніторингу їх параметрів та оцінювання їх станів.

3. Показано, що існує міра залежності техніко-економічної ефективності електроощадних заходів в електричних мережах від повноти їх інформаційного забезпечення. Вона різна для типових заходів зменшення втрат електроенергії під час її передавання та розподілу. Показано, що шляхом комп'ютерного моделювання можливо встановити необхідний рівень інформаційного забезпечення, достатній для об'єктивного планування і реалізації заходів щодо зменшення технологічних витрат електроенергії.

4. В роботі розглянуто ряд електроощадних заходів в електричних мережах, ефективність яких може бути підвищена завдяки більш розвиненій інформаційній інфраструктурі електричних мереж з застосуванням Smart Grid технологій:

– вдосконалено метод визначення максимального навантаження трансформаторної підстанції з використанням характерних графіків навантажень та навантажувальної здатності трансформатора, яка визначається у відповідності з його залишковим ресурсом, що дозволяє більш обґрунтовано використовувати його регульовальні можливості для зменшення втрат електроенергії в електричній мережі;

– показана ефективність застосування типових графіків навантажень, які можуть використовуватись операторами системи передачі та розподілу електроенергії, а також проектними організаціями для виконання електричних розрахунків в розподільних електричних мережах з метою визначення резерву потужності трансформаторних підстанцій, обчислення втрат енергії та напруги в елементах електричних мереж, обчислення максимального навантаження трансформаторних підстанцій, керування режимами електроспоживання та режимами роботи розподільних електричних мереж;

– показана можливість і доцільність оптимального керування втратами від

транзитних перетоків в електричних мережах, об'єднаних на паралельну роботу в енергосистемі. Для мінімізації додаткових втрат від транзитних перетоків та придання їм адресності вдосконалено відповідні методи і алгоритми розрахунку;

– показано, що створення комплексної системи компенсації перетікань реактивної потужності в електричних мережах 110/35/10 кВ є ефективним та реальним шляхом для зниження технічних втрат електроенергії під час її передавання і розподілу. Запропоновано практичні концептуальні положення, які забезпечують вихідну методичну базу для виконання цільових проєктів щодо системної компенсації перетікань реактивної потужності в електричних мережах;

– можливість покращання і підвищення ефективності керування процесами генерування, транспортування, розподілу та споживання електроенергії завдяки Smart Grid технологіям показана на прикладі локальних електричних систем з відновлюваними джерелами енергії. Перехід на нову технологічну платформу дозволяє піднятися на вищий рівень щодо енергоефективності систем електропостачання, підвищити надійність, якість та економічність електропостачання.

5. Показано, що уточнення вихідних даних суттєво впливає на значення розрахункових втрат електроенергії в електричній мережі. Наприклад, при розрахунках режимів за електроенергією в головній ділянці фідерів і за графіками навантаження ТП значення втрат можуть відрізнятися на 10% і більше. Якщо за цими результатами розрахунків визначаються оптимальні точки розмикання мережі, то вони також відрізняються. Тобто, обґрунтованіше зменшення втрат електроенергії завдяки оптимізації нормальної схеми електричної мережі можна отримувати, використовуючи в розрахунках більш повну і достовірну вихідну інформацію. В роботі показано, що це стосується також планування інших заходів зменшення втрат електроенергії в електричних мережах, зокрема заміни проводів ЛЕП та компенсації реактивної потужності.

6. Працездатність та ефективність запропонованих у роботі методів і алгоритмів перевірена шляхом проведення розрахунків з керування поточкорозподілом в реальних електричних мережах. На основі отриманих у роботі результатів дослідження (метод визначення максимального навантаження трансформаторних підстанцій розрахунковим шляхом, типові графіки навантаження трансформаторних підстанцій в дво- та тривимірній формах) вдосконалено програмний комплекс «Втрати-10», який експлуатується в ПАТ «Вінницяобленерго» та «Харківобленерго». Результатами впровадження наукових досліджень, виконаних в роботі, підтверджується доцільність розвитку і вдосконалення інформаційного забезпечення розрахунків режимів електричних мереж, що дозволяє підвищити достовірність визначення технологічних витрат електроенергії і більш обґрунтовано планувати заходи щодо їх зменшення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Буславец О.А. Развитие воздушных линий 110 – 750 кВ в рамках концепции Smart grid / Черемисин Н.М., Черкашина В.В., Буславец О.А. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – Вип.153. – С.3 – 8.

Здобувачем обґрунтовано необхідність і доцільність обчислення ТВЕ з врахуванням температури проводів в залежності від параметрів навколишнього середовища.

2. Буславец О.А. Перспективные оценки повышения эффективности электрических сетей / Черемисин Н.М., Черкашина В.В., Буславец О.А. // Энергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – 2014. – №2. – С. 6 – 9.

Здобувачем показано комплексний напрямок розвитку електричних мереж в рамках концепції Smart Grid.

3. Buslavets O. Evaluation and increase of load capacity of on-load tap changing transformers for improvement of their regulating possibilities / O. Buslavets, P. Lezhniuk, O. Rubanenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – № 2/8 (74). – P. 35 – 41.

Здобувачем обґрунтовано можливість використання навантажувальної здатності трансформаторів для підвищення ефективності оптимального керування режимами електричних мереж.

4. Буславец О.А. Оцінювання впливу відновлюваних джерел електроенергії на функціонування електричних мереж / О.А. Буславец, В.В. Кулик, П.Д. Лежнюк, В.В. Тептя // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2015.– Вип. 164. – С.46 – 49.

Здобувачем обґрунтовано принципи стимулювання та покращання інвестиційної привабливості розбудови відновлюваних джерел енергії в електричних мережах.

5. Буславец О.А. Інформаційне забезпечення для ефективного планування заходів зі зменшення втрат електроенергії у розподільних електричних мережах / О.А. Буславец, В.В. Кулик, П.Д. Лежнюк // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». – 2015. – №1. – С. 103–109.

Здобувачем запропоновано комплексний підхід щодо аналізу навантажувальних втрат електроенергії в розподільних мережах.

6. Буславец О.А. Вплив транзитних пертоків потужності на втрати електроенергії в електричних мережах / О.А. Буславец, О.Б. Бурикін, П.Д. Лежнюк // Технічна електродинаміка. – 2016. – № 4. – С. 71 – 73.

Здобувачем розроблено метод визначення втрат від транзитних потоків потужності для придання їм адресності.

7. Petro Lezhnyuk, Olga Buslavets and Vyacheslav Komar. Impact of Renewable Sources of Energy on The Level of Active Power losses in Distribution

Networks // 2016 2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). – Kyiv, Ukraine, 2016. – P. 73–78.

Здобувачем розроблено модель балансування електроенергії в локальній електричній системі.

8. Потребич А.А. К расчету потерь электроэнергии на корону в сетях НЭК Укрэнерго / А.А. Потребич, В.И. Ткачев, В.С. Черников, Д.С. Стрельников, Н.И. Галкин, Н.А. Потребич, О.А. Буславец, Я.М. Коваль, В.А. Костюшко, О.С. Якимович // Энергетика та електрифікація. – 2013. – №4. – С. 41–52.

Здобувачем визначено роль втрат на корону в структурі втрат електроенергії в мережах і показана залежність їх від метеопараметрів.

9. Буславець О.А. Визначення максимального навантаження трансформаторних підстанцій розрахунковим шляхом / Буславець О.А., Квицинський А.О., Кудецький Л.Н., Лях В.В., Меженний С.Я., Молчанов В.М., Стафійчук В.Г. // Энергетика та електрифікація. – 2013. – №5. – С. 25–31.

Здобувачем розроблено метод визначення максимального навантаження ТП за результатами вимірювання та використання характерних графіків навантаження.

10. Буславець О.А. Практичні питання комплексної системної компенсації реактивної потужності в електричних мережах 110/35/10 кВ електропередавальних організацій / Д.Б. Банін, М.Д. Банін, О.С. Яндульський, Ю.М. Бондаренко, О.І. Ришкевич, А.Е. Зоммер, А.В. Левицький, С.Я. Меженний, А.М. Гушля, О.А. Буславець // Энергетика та електрифікація. – 2013. – №8. – С. 2–16.

Здобувачем обґрунтована доцільність нормування $\text{tg}\varphi$ на шинах підстанцій різного класу напруги.

11. Буславець О.А. Шляхи підвищення достовірності розрахунку і аналізу технологічних витрат електричної енергії в мережах суб'єктів електроенергетики та обґрунтування вибору заходів щодо їх зниження / О.А. Буславець, М.Л. Головатюк, А.О. Квицинський, В.Ф. Черевач // Энергетика та електрифікація. – 2014. – №4. – С. 3 – 6.

Здобувачем проаналізовано шляхи підвищення достовірності розрахунку ТВЕ для обґрунтування заходів щодо їх зменшення.

12. Буславець О.А. Типові графіки електричних навантажень у 3D зображенні / О.А. Буславець, А.О. Квицинський, Л.Н. Кудецький, С.Я. Меженний, Л.В. Мойсеєнко // Энергетика та електрифікація. – 2016. – № 2. – С. 2 – 12.

Здобувачем розроблена методика визначення графіків навантаження у форматі 3D для підвищення достовірності розрахунку ТВЕ.

13. Буславець О.А. SMART GRID технології в електроенергетиці / Лежнюк П.Д., Буславець О.А. // Матеріали XIII Міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах». – Вінниця: ВНТУ, 2016. – С.6 – 10.

Здобувачем проаналізовано фактори, що визначають необхідність і можливість застосування Smart Grid технологій в енергосистемах України.

АНОТАЦІЇ

Буславец О.А. Методи та засоби підвищення достовірності розрахунку та аналізу технологічних витрат електроенергії для обґрунтування їх зменшення. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 «Електричні станції, мережі і системи». – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Харків, 2017.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності функціонування електричних мереж шляхом вдосконалення методів розрахунку та аналізу технологічних витрат електроенергії.

Показано, що існує міра залежності техніко-економічної ефективності електроощадних заходів в електричних мережах від повноти їх інформаційного забезпечення. Досліджено ряд електроощадних заходів в електричних мережах, ефективність яких може бути підвищена завдяки більш розвиненій інформаційній інфраструктурі електричних мереж з застосуванням Smart Grid технологій. Вдосконалено метод визначення максимального навантаження трансформаторів з використанням характерних графіків навантажень та їх навантажувальної здатності, що дозволяє більш обґрунтовано використовувати їх для зменшення витрат електроенергії в електричних мережах. Розроблено типові графіки навантажень, які можуть використовуватись операторами системи передачі та розподілу електроенергії, а також проектними організаціями для виконання електричних розрахунків в електричних мережах, визначення витрат енергії та напруги в елементах електричних мереж, обчислення максимального навантаження трансформаторних підстанцій, керування режимами роботи електричних мереж. Показана можливість і доцільність оптимального керування втратами від транзитних перетоків в електричних мережах, об'єднаних на паралельну роботу в ЕЕС. Для мінімізації додаткових витрат від транзитних перетоків вдосконалено відповідні методи і алгоритми розрахунку. Можливість покращання і підвищення ефективності керування процесами генерування, транспортування, розподілу та споживання електроенергії завдяки Smart Grid технологіям показана на прикладі локальних електричних систем з відновлюваними джерелами енергії.

Ключові слова: електричні мережі, втрати електроенергії, заходи зменшення витрат, інформаційне забезпечення, графіки навантаження, оптимізація потоків потужності.

Буславец О.А. Методы и средства повышения достоверности расчета и анализа технологических потерь электроэнергии для обоснования их уменьшения. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 «Электрические станции, сети и системы». Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка, Харьков, 2017.

Диссертационная работа посвящена повышению эффективности функционирования электрических систем путем совершенствования методов расчета и анализа технологических потерь электроэнергии.

Показано, что существует мера зависимости технико-экономической эффективности мероприятий по уменьшению потерь в электрических сетях в зависимости от полноты их информационного обеспечения. Исследовано ряд электросберегающих мероприятий в электрических сетях, эффективность которых может быть повышена за счет более развитой информационной инфраструктуры электрических сетей с использованием Smart Grid технологий. Усовершенствовано метод определения максимальной нагрузки трансформаторов с использованием характерных графиков нагрузки и их нагрузочной способности, что позволяет более обосновано использовать их для уменьшения потерь электроэнергии в электрических сетях. Разработано типовые графики нагрузок, которые могут использоваться операторами системы передачи и распределения электроэнергии, а также проектирующими организациями для электрических расчетов в электрических сетях, определения потерь электроэнергии и напряжения в элементах электрических сетей, расчета максимальной нагрузки трансформаторных подстанций, управления режимами работы электрических сетей. Показана возможность и целесообразности оптимального управления потерями от транзитных перетоков в электрических сетях, объединенных на параллельную работу в ЭЭС. Для минимизации дополнительных потерь от транзитных перетоков усовершенствовано соответствующие методы и алгоритмы расчета. Возможность улучшения и повышения эффективности управления процессами генерирования, передачи, распределения и потребления электроэнергии благодаря Smart Grid технологиям показана на примере локальных электрических систем с возобновляемыми источниками энергии.

Ключевые слова: электрические сети, потери электроэнергии, мероприятия уменьшения потерь, информационное обеспечение, графики нагрузки, оптимизация потоков мощности.

Buslavets O.A. Methods and means of increasing the reliability of calculation and analysis of technological electric power consumption for substantiation of their reduction. Manuscript.

The dissertation for the Candidate Degree (Engineering) on specialty 05.14.02 «Electric power stations, networks and systems». - Kharkiv Petro Vasilenko National Technical University of Agriculture, Kharkiv. 2017

As the values of technological electric power consumption in the process of its transportation in distribution grids of Ukraine remain high and the trend to their decrease is not observed it is necessary to continue studying the directions, aimed at their reduction in new economic conditions. One of the ways to reduce TPC is to increase reliability of TPC calculation and analysis to substantiate the choice of measures for their reduction. This concerns the need to improve methodological,

informational and hardware support, and for more efficient use of electrical equipment of power systems electric grids.

The dissertation is dedicated to the increase of electric grids operation efficiency by improvement of calculation and analysis methods of technological electric power consumption.

It has been shown that the modernization of power sector of the economy on the basis of Smart Grid concept enables to improve significantly the controllability of the processes of generation, transportation, distribution and consumption of electric energy. Due to introduction of new technologies, the power industry adapts itself to market conditions, meeting the requirements of its integration into a United power system of Europe. The transition to a new technological platform gives the possibility to raise to a higher level of energy efficiency energy supply systems, increase the reliability, quality and economic efficiency of electric energy supply.

The technical and economic efficiency of energy saving measures in electric networks depends on the completeness of their information support. It has been shown that by means of mathematical modeling it is possible to establish the necessary level of information support, sufficient for objective planning and realization of measures, aimed at reduction of the technological electric power consumption. The expediency of transition to a new technological platform in power industry, based on the principles of Smart Grid that allows to improve optimal control of power flows in electrical grids and increase energy efficiency of electric energy supply systems.

A number of energy saving measures in electric grids have been studied, the efficiency of which can be increased due to more developed information infrastructure of electric grids, applying Smart Grid technologies. The method for determining the maximum load of the transformer, using specific loading graphs and its load capacity, determined in accordance with its residual resource was improved that allows more reasonable use of its regulating possibilities to reduce electric energy losses in the grids. Typical loading graphs were developed, they could be used by the operators of electric energy transmission and distribution systems and design organizations to perform power calculations in distribution electric grids, calculation of power reserve of transformer substations, calculation of power and voltage losses in the elements of power grids, calculation of transformer substations maximum loading, control of power consumption modes and distribution electric grids operation modes. The possibility and expediency of optimal control of losses due to mutual and transit flows in electric grids, connected for parallel operation in EES is shown. Appropriate methods and calculation algorithms were improved to minimize additional losses from mutual and transit flows. The possibility to improve the efficiency of generation, transmission, distribution and power consumption processes control as a result of Smart Grid technologies implementation is shown on the example of local power systems with renewable energy sources.

Practical value of the dissertation is that on the base of the performed research means of increasing the efficiency of electric grids operation by improving the methods of calculation and analysis of technological electric power consumption are

determined. In particular: the algorithm determining the maximum loading of transformer substations by calculation method is suggested, technique of determining power losses due to transit flows is improved, technique of assessing the impact of information support on the efficiency of measures, aimed at reduction of energy losses (on the example of reactive power compensation, determination and reduction of transit energy losses). On the basis of the results, obtained in the work, the software complex of intellectual support for the development of energy saving measures in distribution electric grids was proposed for industrial operation at PJSC «Vinnytsyaoblenergo» (implementation act dated 04.10.2016). As a result of the research work «Study of the structure and modes of electric energy consumption in distribution electric networks», «Album of typical graphs of electrical loadings» was developed for a wide range of consumers.

Keywords: electric networks, power losses, measures of losses reduction, information support, loading graphs, optimization of power flows.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be a stylized name or set of initials, located in the lower right quadrant of the page.