

УДК 005:621.311.1

Ачкасов Ігор Анатолійович

Кандидат технічних наук, докторант кафедри управління проектами, orcid.org/0000-0002-7049-0530
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**АНАЛІЗ НЕПРОДУКТИВНИХ ВТРАТ
В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ТА ВПЛИВ НА НИХ**

***Анотація.** Наведено аналіз непродуктивних втрат в передоточних і розподільчих електричних мережах. Загальна структура непродуктивних втрат електроенергії в електричних мережах складається із навантажувальних втрат електроенергії, втрат холостого ходу, кліматичних втрат електроенергії. Доведено, що найбільш ефективним може бути вплив на навантажувальні втрати електроенергії з використанням відповідних портфелів проектів. Аналіз технічних та економічних складових базується на класичних теоріях (закони Кірхгофа) та їх модифікації. Запропоновано принцип узагальнення підходів до визначення технічних складових, економічних параметрів на стадіях проектування та експлуатації електричних мереж. За рахунок використання портфелів проектів пропонуються шляхи зменшення непродуктивних витрат електроенергії в електричних мережах технічними та організаційними засобами.*

***Ключові слова:** непродуктивні втрати електроенергії; закони Кірхгофа; економічна складова; портфель проектів*

Вступ

Енергетичні ресурси в існуванні та розвитку суспільства мають суттєве значення, але використання енергетичних ресурсів завжди пов'язане з неминучими непродуктивними технологічними втратами. Це стосується використання будь-якого виду енергії та її джерела. У зв'язку з все більш поширеним використанням електричної енергії, актуальність зменшення непродуктивних втрат технологічного характеру в цьому енергетичному сегменті очевидна. Найбільш вагомим частиним в технологіях використання електричної енергії є електричні мережі різного рівня та конструктивного виконання, тому втрати в ній досить суттєві. Технологічні втрати в електромережах, пов'язані з передачею енергії, її трансформацією та іншими непродуктивними процесами, запобігти майже неможливо, але впливати з метою їх зменшення за рахунок управління процесами електропостачання, очевидно потрібно.

Визначенням в кількісному виразі втрат електроенергії в мережах присвячено чимало наукових праць та методик, базованих на практичному матеріалі. В цьому напрямку запропоновано пропозиції та втілення провідних науковців і практикуючих фахівців [1 – 11].

Мета статті

Виявлення можливості використання класичних теорій електротехніки задля покращення ефективності технологічних процесів та зменшення

їх собівартості є надто привабливим. Ідеться про зниження непродуктивних втрат технологічного характеру з наявних сьогодні майже 30 до 6-7% (рівень електропромисловості цивілізованого світу). Мета публікації – довести можливість використання широко відомих класичних теорій, а також правомірність їх модифікацій задля використання портфелів проектів, спрямованих на зниження непродуктивних втрат в електричних мережах.

Виклад основного матеріалу**Характер та суть непродуктивних втрат**

Оскільки втрати електроенергії в транспортних та постачальних мережах мають значний рівень, доцільно розглянути та проаналізувати характер втрат та визначити можливості і напрями позитивного впливу на технологічні процеси.

Звісно, що загальна структура непродуктивних втрат електроенергії в електричних мережах складається із:

1. Навантажувальних втрат електроенергії;
2. Втрат холостого ходу;
3. Кліматичних втрат електроенергії.

Якщо проаналізувати зазначене, то очевидно, що впливати з метою їх зменшення з економічної точки зору доцільно на навантажувальні втрати електроенергії. Так, втрати холостого ходу залежать майже цілком від конструктивних особливостей трансформації і вплинути на них в стадії експлуатації без суттєвих капіталовкладень проблематично.

Також майже неможливо впливати на кліматичні втрати (корона та інші).

Підсумовуючи зазначене, можна зробити висновок, що вплив на другий і третій сегменти непродуктивних втрат можливий тільки на стадії проектування електричних мереж, де можуть бути задіяні проектні пропозиції як традиційних портфельів, так і інноваційних.

Таким чином найбільш ефективним може бути вплив на навантажувальні втрати електроенергії з використанням відповідних портфельів проектів.

На практиці при визначенні втрат користуються різними, більш чи менш точними методиками.

Так, втрати навантаження $\Delta P_{2\text{тн}}$ залежать від класу точності ТН. Причому, для трансформаторів напругою 6-10 кВ ця залежність лінійна. При номінальному навантаженні для ТН даного класу напруги $\Delta P_{2\text{тн}} \approx 40$ Вт. Однак на практиці вторинні кола ТН часто перевантажуються, тому зазначені значення необхідно множити на коефіцієнт завантаження вторинного ланцюга ТН $\beta_{2\text{тн}}$. Вищевикладене свідчить, що загальні втрати електроенергії в ТН і навантаження його вторинного ланцюга в тис. кВт-год визначають за формулами:

$$\Delta W_{\text{тн}} = (U + \beta_{2\text{тн}} \cdot \Delta P_{2\text{тн}} \cdot K_{\text{тн}}) \cdot T \cdot 10^{-6}. \quad (1)$$

Втрати в ізоляції кабельних ліній визначають за формулою, кВтг:

$$\Delta W_{\text{каб}} = T \cdot b_c \cdot U^2 \cdot \text{tg}\varphi \cdot L_{\text{каб}}, \quad (2)$$

де b_c – емкісна провідність кабелю, Сим/км; U – напруга, кВ; $L_{\text{каб}}$ – довжина кабелю, км; $\text{tg}\varphi$ – тангенс кута діелектричних втрат, визначається за формулою:

$$\text{tg}\varphi = (0.003 + 0.0002 \cdot T_{\text{сл}}) \cdot (1 + a_\tau \cdot T_{\text{сл}}), \quad (3)$$

де $T_{\text{сл}}$ – число років експлуатації кабелю; a_τ – коефіцієнт старіння, що враховує старіння ізоляції протягом експлуатації. Те, що відбувається при цьому збільшення тангенса кута діелектричних втрат.

З цього зрозуміло, що можна вдосконалювати розрахунки втрат, уточнювати, знаходити ще не визначені та ін. Однак це має сенс з наукової та практичної точки зору, але дає замало можливості для зменшення втрат. Як на інший погляд, доцільно визначити концепцію зменшення непродуктивних втрат енергії в мережах за рахунок використання портфельів проектів технічного, технологічного та організаційного напрямку. Для цього проводимо загальний, концептуальний аналіз функціонування електричних мереж за класичними теоріями, що базуються на основних законах електротехніки. Цей випадок, найбільш узагальнено описують закони Кірхгофа.

Загальна енергія мережі дорівнює сумі продуктивно витраченої та втраченої:

$$E_3 = E_{\text{пв}} + E_{\text{вт}}. \quad (4)$$

Йдеться про зменшення $E_{\text{вт}}$ шляхом впливу на процеси, які породжують втрати.

В загальному вигляді будь-яка електрична мережа являє собою сукупність провідних відрізків (повітряних ПЛ і кабельних КЛ) та вузлів їх з'єднань. Кожний вузол з'єднує щонайменше три провідних відрізка.

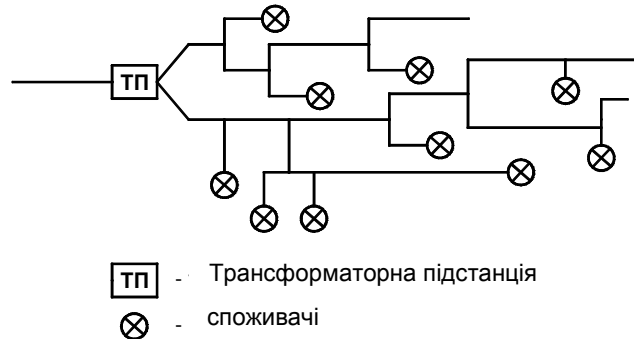


Рисунок 1 – Загальний вигляд фрагменту розподільчої електричної мережі

Вузли є енергетично збалансовані і при їх належному технічному стані не породжують суттєвих енергетичних втрат (деякі методики розрахунків втрат враховують їх введенням коефіцієнтів «1.1» та ін.). Баланс енергії в вузлах відповідає першому закону Кірхгофа:

$$I_0 = I_1 + I_2. \quad (5)$$

Основні втрати енергії відбуваються на ділянках провідних відрізків і кількість втраченої енергії залежить від багатьох технічних, технологічних та організаційних чинників. Тут йдеться про втрати за рахунок падіння напруги IR , тимчасові та нові підключення на ділянках, не передбачені проектом збільшені об'єми використання електроенергії та інше. Управління непродуктивними втратами може впроваджуватися на стадії прийняття проектних рішень (використання відповідних матеріалів, інноваційних технологій та конструктивів), а також визначенням для конкретної мережі найбільш сприятливих режимів експлуатації як в часі, так і в кількості споживання. Важливо передбачити проектом можливість модернізації та реконструкції мережі аби зменшити непродуктивні втрати наступних періодів, з урахуванням тенденцій глобальних та тимчасових змін режимів експлуатації і кількості споживання.

Впливати на втрати електроенергії через управління процесами її передачі є не тільки привабливим, а і зазвичай результативним. Розглядаючи ділянку мережі між вузлами рис. 2, цілком зрозуміло, що вся гамма непродуктивних втрат відбувається саме між вузлами. Якщо вважати, що потенційна можливість віддачі енергії на початку ділянки $E_{\text{д1}}$ на кінці вона вже буде $E_{\text{д1+1}}$ (рис. 3). Різниця між ними становить непродуктивні втрати

$E_{вд}$. Причому ці втрати нелінійно залежать від кількості переданої енергії, оскільки втрати падіння напруги IR входять у втрати лише складовою. В загальному випадку $E_{вд} \neq \text{const}$.

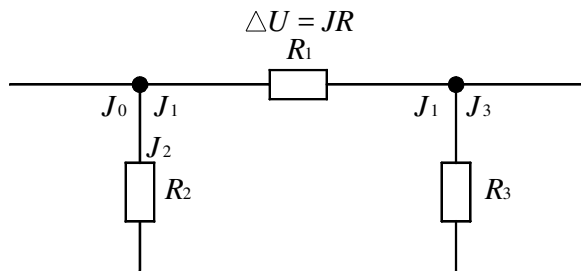


Рисунок 2 – Ділянка мережі між вузлами i та $i+1$

Якщо вважати, що майже всі матеріально спрямовані проекти мають метою економічну доцільність, то можна зазначити, що кількість переданої енергії становить економічну складову загального проекту і наявна можливість моделювання кількістю енергії, що відповідає сумі в грошовому вигляді.

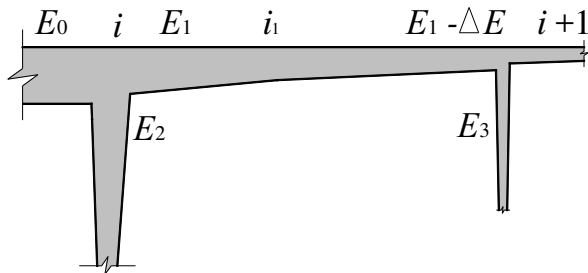


Рисунок 3 – Економічна модель енергетичного стану ділянки мережі між вузлами i та $i+1$

У процесі експлуатаційного використання мережі часом трапляється необхідність приєднання додаткових користувачів (рис. 4).

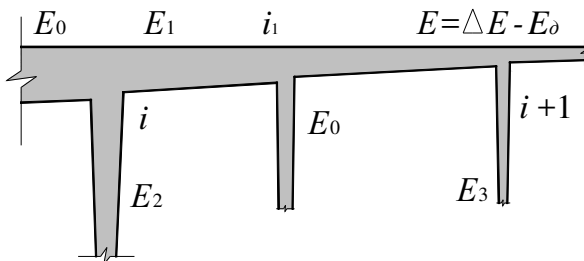


Рисунок 4 – Енергетичний стан та економічна модель ділянки мережі між вузлами i та $i+1$ після додаткового приєднання

Аналіз можливості впливу на непродуктивні втрати

Викладене показує наявність доцільності впливу на стан технології та економіки функціонування електричних мереж будь-якими заходами, що зменшують непродуктивні втрати енергії. Групуючи їх, можна зазначити такі:

- технічні заходи, спрямовані на реконструкцію, модернізацію і зведення нових ділянок мереж. Ці заходи потребують додаткових капітальних вкладень;

- організаційні, до яких належать заходи щодо удосконалення експлуатаційного обслуговування електричних мереж і оптимізація їхніх схем і режимів. Ці заходи є практично маловитратними.

Заходи щодо удосконалювання урахування електроенергії, хоч і не є витратними, але тут не розглядаються.

Таким чином, розглядається переважно використання портфелів проектів технічного та організаційного напрямку, як найбільш економічно доцільних.

Причому використання комплексних проектів, що мають пов'язані між собою технічні та організаційні заходи, вважається більш ефективним. Наприклад, це може бути використання паралельних, резервних (якщо вони були раніше передбачені та реалізовані) та інших функціонуючих мереж.

Ці заходи за своїм складом та функціональними залежностями відповідають другому закону Кірхгофа:

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^m R_k J_r = \sum_{k=1}^m U_k \cdot \quad (6)$$

Економічна складова проектів зменшення непродуктивних втрат

Таким чином, цілком зрозуміло, що головним в господарюванні, пов'язаним з експлуатацією електричних мереж, є його економічна складова, яка знаходиться в залежності від кількості реалізованої та втраченої електроенергії. Функціональна залежність між ними хоч і не підкоряється лінійності, але не є складною:

$$V = f(E), \quad (7)$$

де V – вартість енергії; E – кількість енергії.

Ця функція різна для різних держав, регіонів та мереж. Це є також комерційна та внутрішня по підприємству залежність. Таким чином, якщо кількість енергії E , при $U = \text{const}$ є функцією I , то справедливо визначення вартості відповідно законам Кірхгофа.

Висновки

Підсумовуючи викладене, можна зазначити таке:

– аналіз непродуктивних втрат в електричних мережах, виконаний на базі класичних теорій електротехніки, надає можливість глобального підходу до проблеми зменшення непродуктивних втрат в електричних мережах;

– є можливість застосування принципів класичних теорій електротехніки задля модифікації їх залежностей в економічні складові;

– на базі аналізу непродуктивних втрат в електричних мережах, користуючись модифікованими в економічні складові законами електротехніки, доцільно використовувати портфелі відповідних проектів.

Список літератури

1. Ачкасов А.Є., Лушкін В.А., Охріменко В.М., Кузнецов А.І., Чернявська М.В., Воронкова Т.Б. Електротехніка у будівництві: Навчальний посібник. – Харків: ХНАМГ, 2009 – 363 с.
2. Железко Ю.С. Розрахунок, аналіз і нормування втрат електроенергії в електричних мережах. – М.: НУ ЕНАС, 2002. – 280 с.
3. Железко Ю.С. Вибір заходів щодо зниження втрат електроенергії в електричних мережах: Керівництво для практичних розрахунків. – М.: Вища школа, 1989. – 176 с.
4. Будзко І.А., Левін М.С. Електропостачання сільськогосподарських підприємств і населених пунктів. – М.: Агропромиздат, 1985. – 320 с.
5. Воронічкіній В.Е., Железко Ю.С., Казанцев В.М. Втрати електроенергії в електричних мережах енергосистем. – М.: Вища школа, 1983. – 368 с.
6. Воронічкіній В.Е., Заслонов С.В., Калінкіна М.А. Програма розрахунку технічних втрат потужності та електроенергії в розподільних мережах 6 – 10 кВ. – Електричні станції, 1999, № 8. – С. 38-42.
7. Железко Ю.С. Принципи нормування втрат електроенергії в електричних мережах і програмне забезпечення розрахунків. – Електричні станції, 2001, № 9. – С. 33-38.
8. Железко Ю.С. Оцінка втрат електроенергії, обумовлених інструментальними похибками вимірювання. – Електричні станції, 2001, № 8. – С. 19-24.
9. Галанов В.П., Галанов В.В. Вплив якості електроенергії на рівень її втрат у мережах. – Електричні станції, 2001, № 5. – С. 54-63.
10. Воронічкіній В.Е., Загорський Я.Т., Апяткін В.М. Розрахунок, нормування та зниження втрат електроенергії в міських електричних мережах. – Електричні станції, 2000, № 5. – С. 9-13.
11. Овчинников О. Втрати електроенергії в розподільних мережах 0,38 – 6 (10) кВ. – Новини електротехніки, 2003, № 1. – С. 15-17.
12. Ачкасов І.А. Ентропійні моделі оцінки рівня спостережуваності споживачів в електричних мережах при формуванні портфелів проектів зниження втрат [Текст] / І.А. Ачкасов // Управління розвитком складних систем. – 2017. – № 29. – С. 6 – 11.
13. Ачкасов І.А. Метод формування портфеля проектів зниження втрат електроенергії в електричних мережах з урахуванням рівня спостереженості [Текст] / І.А. Ачкасов // Управління розвитком складних систем. – 2016. – № 28. – С. 19 – 23.
14. Ачкасов І.А. Діагностика втрат електроенергії електричних мережах для формування портфеля проектів з урахуванням рівня спостереженості [Текст] / І.А. Ачкасов // Управління розвитком складних систем. – 2016. – № 27. – С. 11 – 15.

Стаття надійшла до редколегії 03.04.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Д. Бушуєв, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ.

Ачкасов Игорь Анатольевич

Кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры управления проектами, orcid.org/0000-0002-7049-0530
 Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев

АНАЛИЗ НЕПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ И ВЛИЯНИЕ НА НИХ

Аннотация. Приведен анализ непроизводительных потерь в передаточных и распределительных электрических сетях. Общая структура непроизводительных потерь электроэнергии в электрических сетях состоит из нагрузочных потерь электроэнергии, потерь холостого хода, климатических потерь электроэнергии. Доказано, что наиболее эффективным может быть влияние на нагрузочные потери электроэнергии с использованием соответствующих портфелей проектов. Анализ технических и экономических составляющих базируется на классических теориях (законы Кирхгофа) и их модификаций. Предлагается принцип обобщения подходов к определению технических составляющих, экономических параметров на стадиях проектирования и эксплуатации электрических сетей. За счет использования портфелей проектов предлагаются пути уменьшения непроизводительных затрат электроэнергии в электрических сетях техническими и организационными средствами.

Ключевые слова: непродуктивные потери электроэнергии; законы Кирхгофа; экономическая составляющая; портфель проектов

Achkasov Igor AnatolievichPhD, Associate professor of the project management department, *orcid.org/0000-0002-7049-0530*

Kiev National University of Construction and Architecture, Kiev

ANALYSIS UNPRODUCTIVE LOSSES IN ELECTRIC NETWORKS AND THE IMPACT ON THEM

Abstract. The analysis of unproductive losses peredotochnyh and electrical distribution networks. The overall structure of unproductive energy losses in electrical networks consisting of loading power losses, load losses, climate energy losses. It is proved that the most effective may impact loading power losses using appropriate portfolios of projects. Analysis of technical and economic components based on classical theory (Kirchhoff's law) and their modifications. It is proposed to generalize the principle approaches to defining the technical components of economic parameters in the stages of design and operation of electrical networks. Through the use of portfolios of projects proposed ways to reduce overhead electricity power grids technical and organizational means.

Key words: unproductive power losses; The laws of Kirchhoff; Economic component; Portfolio of projects

References

1. Achkasov, A.E. & Lushkin V.A. & Okhrimenko V.M. & Kuznetsov A.I. & Chernyavs'ka M.V. & Voronkova T.B. (2009). *Electrical engineering in construction: Manual*. Kharkiv: KhNAMH, 363.
2. Zhelyezko, Yu.S. (2002). *Calculation, analysis and valuation losses in the power grids*. Moscow: NU ENAS, 280.
3. Zhelyezko, Yu.S. (1989). *The choice of measures to reduce energy losses in electric networks: A Guide for practical calculations*. Moscow: Vyshcha shkola, 176.
4. Budzko, I.A., Levin, M.S. (1985). *Electricity farms and settlements*. Moscow: Ahropromydat, 320.
5. Vorotnitskiy, V.E. & Zhelyezko, Yu.S. & Kazantsev, V.M. (1983). *The losses in the power grids of power systems*. – Moscow: Vyshcha shkola, 368.
6. Vorotnitskiy, V.E., Zaslono, S.V., Kalinkina, M.A. (1999). *Program technical calculation power losses and electricity distribution networks of 6 – 10 kW*. *Power plants*, 8, 38-42.
7. Zhelyezko, Yu.S. (2001). *Principles of valuation losses in the power grids and software calculations*. *Power plants*, 9, 33-38.
8. Zhelyezko, Yu.S. (2001). *Estimated energy losses caused by instrumental measurement error*. *Power plants*, 8, 19-24.
9. Halanov, V.P., Halanov, V.V. (2001). *The impact of power quality at the level of losses in the networks*. *Power plants*, 5, 54-63.
10. Vorotnitskiy, V.E., Zahors'ky, Ya.T., Apryatkin, V.M. (2000). *Calculation, regulation and reduction of energy losses in the distribution network*. *Power plants*, 5, 9-13.
11. Ovchynnykov, O. (2003). *Electricity losses in distribution networks 0,38 – 6 (10) кВ*. *Electrical News*, 1, 15-17.
12. Achkasov, I.A. (2016). *Entropy model observability consumer assessment in electric networks in the formation of portfolio losses reduction projects*. *Management of Development of Complex Systems*, 29, 6–11.
13. Achkasov, I.A. (2016). *Method of forming portfolio projects reduce losses in electricity mains taking into account level of observability*. *Management of Development of Complex Systems*, 28, 20–24.
14. Achkasov, I.A. (2016). *Diagnosis of energy losses in electric grid over preparation of project portfolio taking into account observability level*. *Management of Development of Complex Systems*, 27, 11–15.

Посилання на публікацію

- APA Achkasov, I.A. (2016). *Analysis unproductive losses in electric networks and the impact on them*. *Management of Development of Complex Systems*, 30, 26–30.
- ГОСТ Ачкасов І.А. Аналіз непродуктивних втрат в електричних мережах та вплив на них [Текст] / І.А. Ачкасов // *Управління розвитком складних систем*. – 2017. – № 30. – С. 26 – 30.