

УДК 621.331.003.12

О.І. Акімов, Д.О. Кукушкін, А.І. Попадін, А.В. Прищеп

Український державний університет залізничного транспорту, Харків

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ

На підставі аналізу літературних джерел обрані підходи та запропонований інтегральний показник ефективності функціонування систем електропостачання. Він являє собою рентабельність переробки електроенергії системою, яку пропонується визначати відношенням чистого доходу від переробки електроенергії до витрат на її переробку.

**Ключові слова:** визначення, ефективність, показник, електроенергія, система електропостачання, вартість, витрати, кількість, втрати.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Методика розрахунків систем електропостачання (СЕП), як правило, включає до свого складу: вибір схемного рішення; розрахунок електричних навантажень; розрахунок струмів короткого замикання, на підставі якого обирають елементи СЕП; розрахунок режимів роботи. При цьому практично відсутні критерії, за якими можна в цілому оцінити ефективність даної СЕП, що дасть можливість об'єктивно визначити всі складові тарифу на електроенергію. Таким чином виникає питання про оцінку ефективності СЕП.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідженню й аналізу ситуації, що пов'язана з оцінкою ефективності СЕП, присвячені праці багатьох вчених [1 – 8]. В [3] в якості критерію оцінки ефективності СЕП пропонується використовувати питомі втрати електроенергії в електричних мережах на одну відпущену кВт години. В [4] обґрунтовується як критерій собівартість вироблення електроенергії на теплових станціях. В [7] в якості інтегрального показника, який визначає ефективність і безпеку експлуатації складної системи, використаний інформаційний ресурс, що визначається внутрішньою інформацією. Однак для його знаходження необхідно крім схеми ергатичної підсистеми керування електропостачанням враховувати функціонування інформаційних і керуючих каналів. У порівнянні зі структурою схеми СЕП структура ергатичної підсистеми нестабільна, оскільки зв'язки між її елементами виникають і пропадають хаотично. Крім того, автори пропонують ефективність електричної мережі визначити величиною втрат при передаванні електричної енергії споживачам, або кількістю переробленої енергії в одиницю часу у споживача.

Оскільки електрична мережа є частиною СЕП, то такий підхід для всієї системи неприйнятний. Аналогічні зауваження можна зробити і для [5].

В умовах переходу до ринкових відносин в економіці та реформи ціноутворення деякі автори

[2] пропонують показником ефективності основних фондів, що знову вводяться, на рівні підприємства вважати абсолютну ефективність (рентабельність), яка є визначальним критерієм доцільності капіталовкладень. Але цей показник ефективності можна застосувати до основних фондів на етапі їх побудови, а для СЕП, що вже побудована і функціонує, в такому вигляді він не підходить.

Таким чином, в літературі відсутнє вирішення поставленої задачі, питання, що анонсуються, можуть бути використанні тільки як підходи для оцінки ефективності СЕП.

**Метою статті** є вибір і обґрунтування показника ефективності функціонування СЕП.

### Основна частина

Система електропостачання електрифікованої залізниці є складною технічною системою і складається з декількох підсистем (рис. 1).

СЕП характеризується великим числом взаємозв'язаних елементів. Складність технічної системи визначається числом зв'язків між її елементами. При відмові одного з них система може переходити в стан зниження якості функціонування або відмови. Основними ознаками будь якої системи є наявність:

- мети функціонування;
- управління системою, що є процесом цілеспрямованої дії на систему;
- ієрархічної структури системи, що складається з декількох рівнів підсистем і елементів;
- процесу функціонування засобів системи, що полягає в обміні матеріальними засобами і інформацією між підсистемами і елементами.

Мета функціонування СЕП – забезпечення електричною енергією рухомого складу і нетягових споживачів. Мета досягається виконанням завдань:

- передачі електроенергії споживачам;
- перетворення електричної енергії;
- захисту від аварійних режимів;
- підтримки основних параметрів в заданих межах.

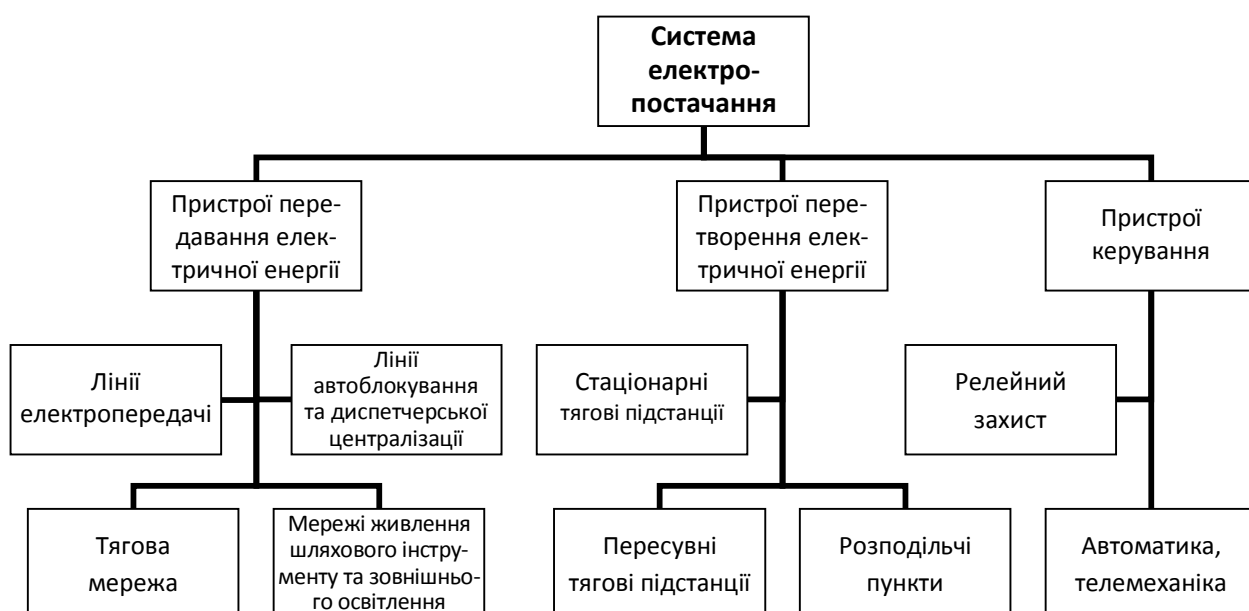


Рис. 1. Структура системи електропостачання електрифікованої залізниці

Ці завдання повинні виконуватися з урахуванням обмежень по надійності і економічності.

Управління режимами роботи СЕП відбувається автоматично і під діями оперативного персоналу. Велика частка команд вимагає високої швидкодії і тому виконується пристроями автоматики, телемеханіки і релейного захисту. Управління технічним станом здійснює обслуговуючий персонал.

Ієрархічність структури СЕП ілюструє рис. 1.

При функціонуванні технічної системи досягається певна мета. Оцінка ефективності функціонування системи полягає в тому числі у виборі та обґрунтуванні показника ефективності, якісно відображаючого ступінь відповідності реального результату системи тому, що вимагається.

Для СЕП таким показником є кількість переробленої енергії в одиницю часу у споживача:

$$W_e^{\Pi} = \sum_{i=1}^N W_i, \quad (1)$$

де  $W_i$  – кількість електроенергії, що отримується і-м споживачем;  $N$  – кількість споживачів.

Цей показник визначає навантаження на елементи системи, а отже, і швидкості протікання процесів деградації. Застосовуються і інші показники. Наприклад, коефіцієнт корисної дії, показники якості електричної енергії для мереж постійного струму, показники якості електричної енергії для однофазного змінного струму, для трифазного струму.

Для контактної мережі застосовують такі показники якості струмознімання:

- коефіцієнт відносної зміни контактної навантаження;
- максимальна змінна складова контактної навантаження;
- коефіцієнт відриву струмоприймача;
- середнє квадратичне відхилення контактної натиснення;

- максимальний розмах вертикальних переміщень контактної дроту;
- віджимання контактної дроту.

Оскільки СЕП працює в умовах дії випадкових чинників, тому значення показників ефективності є випадковими величинами або випадковими функціями.

Наявність декількох показників ефективності функціонування системи є однією з труднощів її аналізу. Інша трудність полягає в необхідності вираження показника ефективності функціонування системи через характеристики функціонування її елементів. Ці характеристики є частковими показниками. Вони свідчать, наскільки добре функціонує елемент, але не дають уявлення про внесок, який даний елемент вносить до досягнення цілей, що стоять перед системою в цілому. Наприклад, важко судити по кількості переробленої електроенергії про внесок дистанції електропостачання в провізну здатність відділення дороги. За показниками якості струмознімання важко судити про кількість переробленої енергії. Тому іноді при оцінці функціонування к-го елементу використовують приріст показника ефективності системи, що отримується за рахунок функціонування цього елементу, за умови, що к-й елемент не бере участь в досягненні і-ої мети системи, але всі ресурси системи розподілені між рештою підсистем оптимальним чином.

Тому у якості інтегрального показника ефективності функціонування СЕП пропонується використовувати рентабельність переробки електроенергії  $P$ , яку можна визначити відношенням чистого доходу  $\Delta\Pi$  від переробки електроенергії СЕП до витрат на її переробку

$$P = \Delta\Pi / E, \quad (2)$$

де  $E$  – витрати підприємства на переробку електроенергії.

Чистий дохід від переробки електроенергії визначається так:

$$\Delta\Pi = (T_{\Pi} - B) \cdot \sum_{i=1}^N W_i, \quad (3)$$

де  $T_{\Pi}$  – тариф на переробку однієї кіловат – години електричної енергії;  $B$  – вартість переробки однієї кіловат – години (роздільно для тягових і нетягових споживачів);  $W_i$  – кількість електроенергії, отриманої  $i$ -м споживачем за розглядаємих проміжок часу.

Вартість переробки однієї кіловат – години отримується діленням витрат підприємства з переробки електроенергії  $E$  на кількість електроенергії, отриманої споживачем:

$$B = E / \sum_{i=1}^N W_i. \quad (4)$$

З виразу (4) витрати підприємства з переробки електроенергії складають

$$E = B \cdot \sum_{i=1}^N W_i. \quad (5)$$

Тоді рентабельність переробки електроенергії можна отримати, підставивши у вираз (2) значення  $\Delta\Pi$  та  $E$  з формул (3) та (5) відповідно

$$P = \frac{T_{\Pi} - B}{B} = \frac{T_{\Pi}}{B} - 1. \quad (6)$$

У витратах повинні враховуватись вартість витрат електроенергії в пристроях електропостачання, вартість електроенергії на власні потреби, фонд оплати праці з нарахуваннями, податки, амортизаційні відрахування, інші експлуатаційні витрати.

Важливим є завдання нормування показників ефективності. У даному випадку як нормативний показник можна використовувати тариф на переробку однієї кіловат – години  $T_{\Pi}$ . Його величина повинна стимулювати використання науково-технічних досягнень, підвищення продуктивності праці, раціональне використання сировини, матеріалів і енергетичних ресурсів, а також підвищення якості електроенергії і надійності електропостачання.

## Висновок

На основі аналізу літературних джерел вибрані підходи та запропонований інтегральний показник ефективності функціонування систем електропостачання електрифікованих залізниць. Його застосування, зокрема, дасть можливість об'єктивно визначити всі складові тарифу на електроенергію.

## Список літератури

1. Надежность и эффективность в технике. Т. 1. Методология. Организация. Терминология [Текст] / В.С. Авдеевский, И.В. Аполонов, Е.Ю. Барзилович и др.; под ред. А.И. Рембзы. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
2. Сегада М.С. Электричні мережі та системи: підручник [Текст] / М.С. Сегада. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2007. – 488 с.
3. Кузнецов А.В. Структура и тарифное стимулирование управления режимами потребления электрической энергии [Текст] / А.В. Кузнецов, Л.Т. Магазинник, В.П. Шингаров. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 104 с.
4. Божков М.И. Энергосбережение – это оптимизация производства и потребления энергии [Текст] / М.И. Божков // Электрика. – 2010. – № 1. – С. 3-8.
5. Таджибаев А.И. Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования [Текст] / А.И. Таджибаев, Ф.Х. Халилов, Г.В. Смирнов. – СПб., 1999. – 174 с.
6. Папков Б.В. Надежность и эффективность электроснабжения [Текст] / Б.В. Папков, Д.Ю. Папшали. – Уфа: Уфимский гос. авиац. техн. ун-т, 2005. – 380 с.
7. Матвеев В.Н. Оценка эффективности системы электроснабжения г. Топки [Текст] / В.Н. Матвеев, М.М. Еремеев, М.И. Васенин // Вестник Кузбасского госуд. техн. университета. – 2010. – № 6. – С. 74-78.
8. Muginshtein L.A. Power optimal traction calculation for operation of trains of increased mass and length [Text] / L.A. Muginshtein, I.A. Yabko // IHNA, June 22-25, Shanghai, China, 2009. – P. 11.23-11.29.

Надійшла до редколегії 1.04.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Я.В. Щербак, Український державний університет залізничного транспорту, Харків.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

А.И. Акимов, Д.О. Кукушкин, А.И. Попадин, А.В. Прищепя

На основе анализа литературных источников выбраны подходы и предложен интегральный показатель эффективности функционирования системы электроснабжения. Он представляет рентабельность переработки электроэнергии системой, которую предлагается определять отношением чистого дохода от переработки электроэнергии к расходам на ее переработку.

**Ключевые слова:** определение, эффективность, показатель, электроэнергия, система электроснабжения, стоимость, расходы, количество, потери.

## ESTIMATION OF EFFICIENCY OF THE SYSTEMS OF POWER SUPPLY OF THE ELECTRIFIED RAILWAYS

A.I. Akimov, D.O. Kukushkin, A.I. Popadin, A.V. Prischepa

On the basis of the analysis of references and suggested approaches selected integral indicator of the efficiency of the electricity system electrification of the railways. It represents a return on refining the electricity system, which is proposed to determine the ratio of revenue from the purity of the processing power to its processing costs. The technique of definition of these components of the costs should be taken into account the cost of energy losses in power supply devices, the cost of electricity to the property, the wage fund with accrual taxes depreciation charges, other operating costs. Performance indicators are normalized. In this case, the statutory rate, you can use the tariff to overwork one kilowatt-hour of energy. Moreover, its value should encourage the use of science and technology, increased productivity, efficient use of raw materials and energy resources, as well as improving the quality of electricity and reliability of energy efficiency.

**Keywords:** determination, efficiency, component, electricity, electric power system, cost, number, losses.