

УДК 621.331: 621.311.4

СТРАТЕГІЇ УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ І РЕМОНТОМ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

О.О. Матусевич, канд. техн. наук

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна,
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, Україна
e-mail: al_m0452@meta.ua

Запропоновано модель і методичне забезпечення вирішення проблеми управління технічним станом електроустаткування тягових підстанцій (ТП) залізниць у процесі експлуатації. Розглянуті стратегії управління технічним станом силового електрообладнання ТП можуть використовуватися для підвищення надійності його роботи та досягнення оптимальної експлуатації електроустаткування протягом усього життєвого циклу. Цей підхід дасть змогу забезпечити вирішення ряду стратегічних завдань ефективного управління технічним станом електроустаткування ТП у процесі експлуатації. Відповідно до мети, принципів і завдань управління запропоновано показник ефективності управління технічним станом електроустаткування, а також розроблено модель виміру і реєстрації діагностичних параметрів силового електрообладнання ТП та управління основними параметрами електроустаткування в процесі експлуатації на основі моделі визначення залишкового ресурсу. Бібл. 7, рисунок.

Ключові слова: тягові підстанції, електрообладнання, технічна експлуатація, залишковий ресурс, технічний стан, ефективність управління.

Вступ. Підвищення ефективності управління і організації процесу експлуатації силового електрообладнання тягових підстанцій (ТП) може бути досягнуто при отриманні оптимального технічного стану устаткування стосовно початкового і подальшого забезпечення надійності устаткування на заданому рівні. На сьогодні управління технічним станом електроустаткування ТП дистанцій електропостачання залізниць України здійснюється відповідно до таких нормативних документів: Правила технічної експлуатації залізниць України; Правила улаштування системи тягового електропостачання залізниць України; Інструкція з технічного обслуговування і ремонту устаткування тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць. Згідно з основними положеннями цих документів підтримка необхідного рівня надійності електроустаткування ТП у процесі експлуатації забезпечується, з одного боку, за рахунок значного коефіцієнта запасу ресурсу устаткування, який закладено при його створенні, а з іншого боку – системою технічного обслуговування і ремонтів (ТО і Р). Ця система базується на проведенні планових профілактичних робіт (ППР) після напрацювання певного часу (система планово попереджувальних ремонтів) [3]. Проте іноді таке обслуговування призводить до невиправданих витрат, оскільки реальний технічний стан електрообладнання ТП у момент проведення робіт може і не вимагати технічного обслуговування, а деталі, які замінено, ще не досягли критичної міри зносу. Також наразі відсутнє необхідне фінансово-технічне забезпечення проведення ППР у повному обсязі, а поступове старіння парку устаткування ТП і зменшення запасів міцності гостро ставлять питання оцінки рівня ризику його експлуатації за межами встановленого терміну служби (наприклад, на залізницях України 82,9 % ТП працюють з терміном служби понад 30 років) [1].

Виходячи з таких умов експлуатації ТП, основною метою управління технічним станом електроустаткування на сьогодні є: забезпечення необхідного рівня надійності, безпека і ефективність функціонування електроустаткування ТП при мінімальних витратах на експлуатацію. Крім того, сучасне перетворення, передача і розподіл електроенергії пов'язані зі складними технологічними процесами, стійкість яких неможлива без автоматизації усіх процесів функціонування системи тягового електропостачання (СТЕ), у тому числі й процедур оцінки фактичного технічного стану устаткування ТП, що є найважливішим напрямом інтелектуалізації СТЕ на принципах "інтелектуальної" мережі – *Smart Grid*.

Основна частина. Досвід роботи сучасних енергосистем показує [6], що управління технічним станом (ТС) електроустаткування в процесі експлуатації може бути здійснене як через управління режимами експлуатації, управління показниками безвідмовності й довговічності, так і шляхом безпосереднього управління станами процесу експлуатації способом зміни станів роботи, технічного обслуговування і ремонту, резерву устаткування. Отже, основним принципом нової технології управління технічним станом електроустаткування є забезпечення надійності функціонування устаткування ТП, засноване на індивідуальному спостереженні за реальними змінами фактичного технічного стану устаткування в процесі експлуатації.

Загальна проблема вдосконалення системи технічної експлуатації електроустаткування включає вирішення таких завдань [5]: оптимальну організацію діагностики і контролю технічного стану електроустаткування ТП; оцінку і прогнозування експлуатаційної надійності електроустаткування ТП; оптимізацію термінів і обсягів проведення технічного обслуговування і ремонту; вибір раціональної стратегії проведення технічного обслуговування і ремонту; вибір стратегії управління процесом експлуатації електроустаткування; планування технічного обслуговування і ремонту електроустаткування з урахуванням фактичного технічного стану.

Відповідно до розглянутої мети, принципів і завдань управління, для оцінки управління введемо показник ефективності управління технічним станом електроустаткування ТП за напрацюванням. Показник ефективності управління представимо як функцію [7]

$$W_{ef,y}(x) = f(Q(x), R(x), P(x), Z(x), M(x)) \quad (1)$$

де $Q_y(x)$ – параметри електрообладнання за напрацювання x ; $R(x)$ – фактичний спрацьований ресурс електрообладнання за напрацювання x ; $P(x)$ – ймовірність безвідмовної роботи електроустаткування за напрацювання x ; $Z(x)$ – сумарні ремонтно-експлуатаційні витрати на технічне діагностування, технічне обслуговування і ремонт електроустаткування за напрацювання x ; $M(x)$ – матриця управління станами процесу експлуатації групи технологічно взаємопов'язаного електроустаткування за напрацювання x .

Компонента $Q_y(x)$ показника ефективності управління показує параметри, контрольовані засобами технічної діагностики, їх ознаки та відхилення, які характеризують зміну технічного стану електрообладнання ТП за напрацювання r під впливом теплових, електричних, механічних, хімічних та інших факторів.

Компонента $R(x)$ є інтегральною характеристикою технічного стану – фактичний спрацьований ресурс електроустаткування в обсязі напрацювання x , який характеризує довговічність устаткування.

Компонента $P(x)$ є ймовірністю безвідмовної роботи електроустаткування в обсязі напрацювання x і характеризує безвідмовність устаткування.

Компонента $Z(x)$ – це сумарні ремонтно-експлуатаційні витрати на технічну діагностику, технічне обслуговування і ремонт електроустаткування за напрацювання x . Значення витрат $Z(x)$ показує, наскільки ефективно прийнята система експлуатації, технічного обслуговування і ремонту забезпечує застосування електроустаткування за призначенням. Крім того, значення витрат $Z(x)$ показує, яку долю займають ремонтно-експлуатаційні витрати в загальній структурі витрат.

Компонента $M(x)$ критерію управління є матрицею управління станами процесу експлуатації групи технологічно взаємопов'язаного електроустаткування за напрацювання x . Матриця управління встановлює взаємозв'язок між станами процесу експлуатації (ремонт, резерв, робота) електроустаткування однієї технологічної групи відповідно до його ТС.

Для управління технічним станом використовують різні стратегії управління технічною експлуатацією електроустаткування. Правило, що однозначно встановлює вибір управляючої (ремонтної) дії на електроустаткування протягом усього часу його експлуатації, прийнято називати стратегією управління.

Під управляючою дією розуміються роботи по технічному обслуговуванню, діагностуванню, поточному, середньому і капітальному ремонту. Відомі три основні стратегії управління.

1. *Стратегія аварійного управління*, при якій планові роботи не проводять, а аварійні відновні роботи здійснюють лише після відмови устаткування. Стратегія аварійного управління дає змогу якнайповніше витратити закладений в устаткування ресурс, але вона призводить до частих тривалих зупинок технологічних процесів, що завдає великого збитку і призводить до значних витрат на аварійно-відновний ремонт.

2. *Стратегія управління за регламентом*, згідно з якою проводять ТО і Р періодично в планові терміни, незалежно від технічного стану устаткування, а у разі його відмови здійснюють відновлення або заміну. Устаткування експлуатується до спрацювання заздалегідь визначеного міжремонтного ресурсу. Величина міжремонтного ресурсу визначається для групи однотипного устаткування за статистичними даними і не враховує реальних умов і режимів експлуатації конкретного устаткування. Після закінчення встановленого терміну служби устаткування або знімається з експлуатації, або йде на відновний ремонт.

3. *Стратегія управління за фактичним технічним станом*, коли дії проводять з урахуванням фактичного стану устаткування, що визначається методами технічної діагностики, здійснюваної шляхом безперервного або дискретного контролю за зміною фізико-хімічних параметрів устаткування, котрі визначають його працездатність. Устаткування експлуатується доти, поки ці параметри не досягли граничного (з точки зору надійності) значення. Це дає змогу більш повно використовувати технічний ресурс і забезпечити надійну роботу електроустаткування при мінімальних витратах.

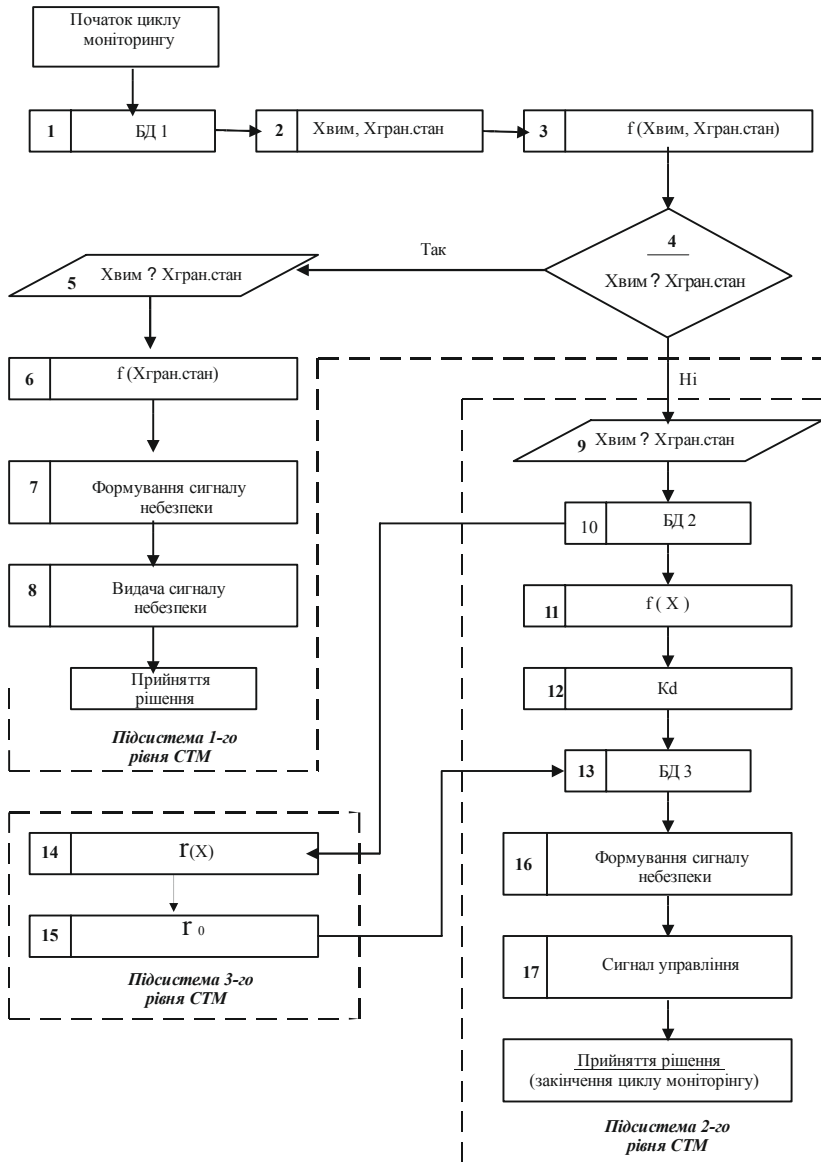
У практиці експлуатації електроустаткування ТП у тій або іншій мірі застосовують перші дві стратегії [3]. Характерною особливістю експлуатації електроустаткування ТП у сучасних умовах є необхідність застосування прогресивних методів технічної діагностики, при цьому доцільно розробляти нові підходи до використання її результатів з метою ефективного управління технічним станом електроустаткування в процесі експлуатації. Для вирішення цієї проблеми, враховуючи [2, 4, 5], можна пропонувати модель системи технічного моніторингу (СТМ) силового електрообладнання ТП, яка утворює сукупність об'єкта і засобів безперервного діагностування (контролю) фактичного технічного стану електрообладнання з урахуванням правил, встановлених в нормативно-технічній документації (НТД). Модель СТМ представлена на рисунку. Пропонована модель СТМ має підсистеми діагностики першого, другого та третього рівнів.

Перший рівень моніторингу забезпечує: обробку вимірюваних діагностичних параметрів, представляючи їх у нормалізованому вигляді, і передачу результатів вимірювання в обробленому вигляді в базу даних; відповідність значень вимірюваних параметрів нормованим значенням і формування висновку про відповідність технічного стану об'єкта вимогам НТД; формування сигналу небезпеки експлуатації об'єкта при перевищенні значень вимірюваних параметрів нормованих значень; прийом командних сигналів на зміну чутливості датчиків, тривалості й періодичності вимірювання та синхронізації.

Підсистема другого рівня забезпечує: визначення виду і місця дефектів, що розвиваються; розрахунок похідних і динамічних діагностичних параметрів; визначення ретроспективи діагностичних параметрів; визначення ступеня небезпеки дефектів, що розвиваються; зміну алгоритму роботи підсистеми по команді верхнього рівня; передачу результатів розрахунку і аналізу в базу даних; зберігання інформативних параметрів; вимірювання діагностичних параметрів; формування сигналу про зміну режиму роботи системи охолодження об'єкта (наприклад, силових трансформаторів).

Підсистема діагностики третього рівня забезпечує оцінку залишкового ресурсу об'єкта.

Виходячи з основних завдань СТМ при технічному діагностуванні в режимі моніторингу, первинним актом є визначення технічного стану силового електрообладнання ТП. При встановленні факту несправності та дефекту наступний крок спрямований на пошук місця, виду і небезпеки дефекту та визначення причин несправності. В об'єкті можуть утворюватися і розвиватися явні й неявні види дефектів. Визначення дефектів устаткування ТП і всіх видів порушень у його функціонуванні відбувається з використанням діагностичних параметрів.



Діагностичні параметри можна поділити на три типи: параметри інформаційного виду, що представляють об'єктну характеристику, $X_{інф}$; параметри, що представляють поточну технічну характеристику елементів (вузлів) об'єкта, X_i ; параметри, які включають похідні декількох параметрів, $X_{пох}$.

До параметрів інформаційного виду $X_{інф}$ належать: тип об'єкта; час введення в експлуатацію та період експлуатації; ремонтні роботи, що проводяться на об'єкті; знаходження об'єкта в нештатних ситуаціях; технічні характеристики об'єкта, отримані при випробуванні на заводі-виробнику та / або при введенні в експлуатацію; нормовані значення діагностичних параметрів $X_{гран.стан}$ тощо.

До діагностичних параметрів, які представляють поточну технічну характеристику елементів (вузлів) об'єкта, X_i належать результати

вимірювань у поточний момент. Кількість вимірюваних діагностичних параметрів залежить від виду обладнання та ступеня розвиненості методів діагностування. Так, наприклад [3], число вимірюваних діагностичних параметрів силових трансформаторів досягає 38, масляних вимикачів – 29, елегазових вимикачів – 25, обмежувачів перенапруги та розрядників – 10, роз'єднувачів (з приводом) – 14, маслонаповнених вимірювальних трансформаторів струму – 9.

На сьогодні існує можливість автоматично вимірювати основну частину поточних діагностичних параметрів технічними засобами під робочою напругою (тобто в режимі *online*). Діагностування проводиться в циклічній формі: кожен цикл включає в себе вимір всього комплексу параметрів при обов'язковій реєстрації параметрів хоча б один раз. При діагностуванні обладнання знання взаємодії подій при утворенні дефекту є найважливішою умовою визначення логічного ланцюга подій при створенні моделей технічного стану систем та об'єкта в цілому. Отже, побудова схем подій є складовою частиною методики діагностування при аналізі результатів вимірювання параметрів контрольованого обладнання ТП. Від повноти опису об'єкта і функціональних зв'язків явищ в об'єкті залежить точність результатів діагностування.

Блок моделі залишкового ресурсу $r(X)$ (рисунок, блок 14) заснований на застосуванні функціональної залежності залишкового ресурсу r_0 (блок 15) від діагностичних параметрів та їх похідних. Вихідними даними цієї моделі є значення статичних $X_{ст}$ і динамічних $X_{дин.i}$ параметрів, які були визначені в моделі залишкового ресурсу $f(X)$ і введені в блок визначення

ступеня небезпеки K_d (блок 12) і потім в базу даних БДЗ (блок 13). Аналіз залежності $r(X)$ (залишкового ресурсу) (блок 14) дає змогу отримати значення r_0 (блок 15), яке є залишковим ресурсом об'єкта. Слід зазначити, що усунення виявлених дефектів призводить до зміни значень діагностичних параметрів і відповідно до зміни значення залишкового ресурсу.

Слід зазначити, що моделі аналізу перетворення параметрів $f(X_{\text{гран.стан}}, X_{\text{вим}})$, технічного стану $f(X_{\text{гран.стан}})$, динамічних характеристик і розвитку дефектів $f(X)$, залишкового ресурсу $r(X)$ є частинами системи СТМ, яка виконує всі дії в режимі моніторингу діагностичних параметрів X_i .

У зв'язку з цим розв'язування задач у моделях має проводитися в кожному циклі вимірювань $X_{\text{вим}}$, а реалізація такої системи управління станом силового електрообладнання ТП відбуватиметься при інтенсивному використанні сучасних обчислювальних комплексів з відповідним програмним забезпеченням.

Висновки. 1. Сформульовано основні теоретичні та методичні підходи й стратегії управління технічним станом силового електрообладнання ТП.

2. Запропоновано показник ефективності управління технічним станом електроустановки, а також розроблено модель виміру і реєстрації діагностичних параметрів силового електрообладнання ТП та управління основними параметрами електроустановки в процесі експлуатації на основі моделі визначення залишкового ресурсу.

3. Цей підхід дасть змогу забезпечити ефективне вирішення ряду основних завдань управління технічним станом електрообладнання ТП: забезпечення надійного тягового електропостачання залізниць і зниження аварійності силового устаткування; забезпечення усієї вертикалі управління достовірною інформацією про технічний стан устаткування в масштабі реального часу; підвищення ефективності функціонування устаткування на базі нових сучасних технологій; проведення експлуатаційного обслуговування устаткування за фактичним технічним станом і оперативного контролю ресурсу з метою його повного використання; підвищення основних показників системи ТО і Р; забезпечення прозорості й обґрунтованості ТО і Р ТП; зниження витрат на експлуатацію силового електрообладнання.

1. *Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2013 році.* – К.: Вид. ТОВ «Девалта», 2014. – 251 с.
2. *Единая Система Мониторинга и Диагностирования (Хозяйство электрификации и электроснабжения) [Электронный ресурс]* / Режим доступа: <https://www.google.com.ua/www.transset.ru/index.php/esmde>.
3. *Інструкція з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць [Текст]* / Державна адміністрація залізничного транспорту України Укрзалізниця, 2013. – 27 с.
4. *Матусевич О.О., Сиченко В.Г.* Багатоаспектна оцінка технічного стану силового устаткування тягових підстанцій // *Енергосбережение на ж.д. транспорте и в промышленности* (Воловець, 11.06–14.06.2013): Тез. IV Міжнар. наук.-практ. конф. / МОН України, Дніпропетровський нац. ун-т залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: ДНУЗТ, 2013. – С. 78–80.
5. *Матусевич О.О.* Сучасні підходи з технічного обслуговування та ремонту обладнання тягових підстанцій електрифікованих залізниць на основі Smart-технологій // *Наука та прогрес транспорту: Вісн. Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.* – 2014. – № 4. – С. 75–85.
6. *Савельев В.А., Назарычев А.Н.* Принципы новой технологии управления техническим состоянием электрооборудования станций и подстанций // *РНСЭ: Мат. докл.* / Казань: Казан. гос. энерг. ун-т. – 2001. – Т. II. – С. 42–45.
7. *Matusevych O.O.* Modern approaches to the management of the technical state of the electrical equipment of traction substations // *Tretya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, organizovannaya Institutom zheleznodorozhnogo i transportnogo otdela Varshavskogo tekhnologicheskogo universiteta.* – 2014. – S. 73 (Polish).

А.А. Матусевич, канд. техн. наук

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010

Стратегии управления техническим состоянием и ремонтом тяговых подстанций

Предложены модель и методическое обеспечение решения проблемы управления техническим состоянием электрооборудования тяговых подстанций (ТП) железных дорог в процессе эксплуатации. Рассмотренные стратегии управления техническим состоянием силового электрооборудования ТП могут использоваться в целях повышения надежности его работы и достижения оптимальной эксплуатации электрооборудования в течение всего жизненного цикла. Такой подход позволит обеспечить решение ряда стратегических задач эффективного управления техническим состоянием электрооборудования ТП в процессе эксплуатации. В соответствии с целью, принципами и заданиями управления предложен показатель эффективности управления техническим состоянием электрооборудования, а также разработана модель измерения и регистрации диагностических параметров силового электрооборудования ТП и управления основными параметрами электрооборудования в процессе эксплуатации на основе модели определения остаточного ресурса. Библ. 7, рисунок.

Ключевые слова: тяговые подстанции, электрооборудование, техническая эксплуатация, остаточный ресурс, техническое состояние, эффективность управления.

O.O. Matusevych

Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan,
st. Lazaryan, 2, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine

Management strategies technical condition and repair of traction substations

Theoretical approaches and methodological support of solving actual scientific and technical problems of control the technical condition of electric traction substations during the operation are proposed. Strategies for managing the technical condition of power electrical equipment traction substations which were considered can be used to enhance the reliability of its work and optimal operation of electrical equipment throughout the life cycle. This approach will allow solving a number of strategic tasks effective management of technical condition of electric equipment of traction substations during the operation. In accordance with the purpose, principles and objectives of management next steps are proposed. There are indicator of management efficiency of electrical equipment technical condition, measurement model and registration of diagnostic parameters of power electrical equipment substations and traction control of electrical equipment key parameters during the operation based on model for determining residual life. References 7, figure.

Key words: traction substations, electrical equipment, technical maintenance, life remaining, technical condition, effectiveness of management.

Надійшла 15.05.2015

Received 15.05.2015

УДК 621.317

СПОСІБ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВСТАНОВЛЕННЯ ІНДИКАТОРІВ ПОШКОДЖЕНЬ НА ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

О.Ю. Бець, асп., І.В. Блінов, канд. техн. наук, Є.В. Парус, канд. техн. наук, С.Є. Танкевич, канд. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03680, Україна
e-mail: igorblinov@mail.ru

Розглянуто особливості постановки задачі вибору оптимальної кількості та місць встановлення індикаторів пошкоджень на повітряних лініях електропередачі. Наведено цільову функцію максимізації економічного ефекту від встановлення індикаторів та основні обмеження, що відображають нормативні показники якості послуг з постачання електроенергії. Показано можливості зменшення множини комбінаторних рішень з врахуванням особливостей постановки задачі. Бібл. 8, рис. 3.

Ключові слова: індикатори пошкодження, пошук місця пошкодження, маршрут огляду, показники надійності.

Показники якості надання послуг з електропостачання значною мірою залежать від безперебійності роботи електричних мереж. Так, НКРЕКП запровадив ряд індексів [1], якими оцінюється ефективність роботи електропостачальних організацій, зокрема індекс середньої тривалості довгих перерв у електропостачанні SAIDI та розрахунковий обсяг невідпущеної електроенергії ENS. Обидва показники безпосередньо залежать від часу перерви в еле-