

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ В КЕРУВАННІ РЕЖИМАМИ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ

Д.О.Босий, канд.техн.наук

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна,
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, Україна.

E-mail: dake@i.ua

Представлено результати аналізу основних заходів удосконалення керування режимами роботи систем тягового електропостачання постійного та змінного струму. Як методику виконання розрахунків використано просторово-часове уявлення основних електричних величин для систем електричної тяги. Для системи постійного струму запропоновано систему стабілізації напруги на струмоприймачах електровозів. У системі змінного струму розглядаються заходи унеможливлення протікання вирівнювальних струмів, спричинених відхиленням параметрів режиму системи зовнішнього електропостачання. Бібл. 8, рис. 4.

Ключові слова: система електропостачання, електрична тяга, постійний струм, змінний струм, режими роботи, напруга, якість електричної енергії, енергоефективність.

Вступ. Початок XXI століття ознаменувався створенням нової енергетичної цивілізації, в основу якої покладено енергоефективність, інтелектуальні енергетичні системи, децентралізацію енергетики та застосування нових джерел генерації енергії. Переосмислюється концепція галузевої організації енергетики з переходом до системної за рахунок підвищення структурності, а саме заміни об'єднаної електроенергетичної системи інтелектуальною електроенергетикою на базі концепції Smart Grid [5-7].

Системою Smart Grid прийнято вважати повністю автоматизовану енергетичну систему, яка одночасно забезпечує двосторонні потоки електричної енергії та режимної інформації між генеруючими об'єктами та споживачами [2, 4]. За допомогою використання новітніх технологій Smart Grid системи доповнюють електроенергетичну систему «штучним розумом», що дозволяє різко підвищити її ефективність функціонування. За експертними оцінками застосування систем Smart Grid дозволяє також знизити споживання електричної енергії та підвищити надійність електропостачання. Стратегія розвитку «інтелектуальних» мереж передбачає насамперед розробку стандартів щодо сумісності систем і пристроїв, які забезпечують керування режимами енергосистем, створення умов для обміну інформацією при високому рівні надійності.

З огляду на розгалуженість та протяжність систем тягового електропостачання електрифікованих залізниць, які представлені шістьма суб'єктами господарювання, актуальним є впровадження інтелектуальних технологій для керування режимами їхньої роботи. Через те, що кінцевий споживач у системі тягового електропостачання постійно змінює свої параметри у часі та просторі, на границях залізниць можливе виникнення спірних питань, пов'язаних з особливістю споживання електричної енергії електрорухомим складом, недосконалістю системи обліку електричної енергії та режимами напруги в системі електропостачання. Електричну енергію станом на 2015 рік всі залізниці України отримують з оптового ринку електроенергії, користуючися при її передачі до тягових підстанцій послугами транзиту акціонерних компаній, які розподілені за адміністративно-територіальним поділом, що додатково вносить складнощі при вирішенні спірних питань.

Метою даної роботи є аналіз основних проблемних питань у роботі систем електричної тяги постійного та змінного струму з подальшою розробкою інтелектуальних систем у частині удосконалення режимів напруги.

Режими перетворення електроенергії в системах електричної тяги. Режимом роботи системи тягового електропостачання вважається неперервний технологічний процес передачі, розподілу та споживання електроенергії, який характеризується величинами напруги, струмів, кутів зсуву фаз, коефіцієнтів потужності та втрат електроенергії на всьому шляху її передачі та перетворення. Будь-яке перетворення електричної енергії в системах тягового електропостачання зумовлене процесами випрямлення чи трансформації електроенергії на тягових підстанціях та безпосередньо на електрорухомому складі. Для більшості підстанцій системи постійного струму характерна двоступенева трансформація. Відомі також окремі випадки живлення трифазних випрямлячів за принципом глухого вводу. Саме для системи постійного струму виконується більш ефективно перетворення електроенергії, ніж

для системи змінного струму. Для порівняння в системі змінного струму коефіцієнт потужності однофазного випрямляча за даними експлуатації змінюється в межах $\lambda = 0,8...0,7$ і навіть нижче, в системі постійного струму коефіцієнт потужності випрямлячів значно вищий $\lambda = 0,9...0,94$ [3]. На змінному струмі тягові підстанції виконують одинарну трансформацію отриманої з первинної мережі електроенергії, а подальше її перетворення до напруги, придатної для живлення електроприводу, виконується з енергії однофазного змінного струму перетворювачами електрорухомого складу.

Крім того, на електрифікованих залізницях змінного струму унаслідок більш низького коефіцієнту потужності електрорухомого складу та активно-індуктивного характеру опору тягової мережі мають місце більші втрати напруги та електроенергії, ніж у системі постійного струму. Проектоване відхилення напруги на струмоприймачі електрорухомого складу від шин тягової підстанції за відносними значеннями для змінного струму складає $\delta U_{\sim} = 27,5 - 25 = 2,5$ кВ, а для постійного – $\delta U_{=} = 3,3 - 3,0 = 0,3$ кВ. В абсолютних значеннях – 9,1 % для обох систем.

Методика розрахунків систем тягового електропостачання. Нестационарний характер електричних навантажень, який створюється електрорухомим складом в системі тягового електропостачання, та їхня здатність переміщуватися у просторі відносно тягових підстанцій призводять до залежності напруги і споживання струму від характеру руху поїздів та особливостей електрифікованої ділянки. Напруга безпосередньо на струмоприймачах електровозів коливається у досить широких межах, що примушує враховувати зміни режиму напруги через те, що швидкість електровозів з тяговими двигунами послідовного збудження змінюється практично пропорційно їй, а методика розрахунку системи тягового електропостачання не дозволяє врахувати процес споживання тяговим навантаженням постійної потужності. Для вирішення цієї проблеми розроблено методику з використанням аналітичних функцій опору, що дозволяє виконати електричні розрахунки при споживанні електрорухомим складом заданої потужності при фактичному значенні напруги [1]. Можливість застосування прямого розрахунку електричних величин та аналітичні вирази отриманих для різних схем живлення контактної мережі функцій опору дозволяють значно спростити подальші оптимізаційні розрахунки режимів роботи систем тягового електропостачання.

Виконання оптимізаційних розрахунків системи тягового електропостачання неможливе без складання моделі системи в просторово-часових координатах. Саме таке врахування всіх електричних величин дозволить побудувати інтелектуальні системи керування режимами систем тягового електропостачання.

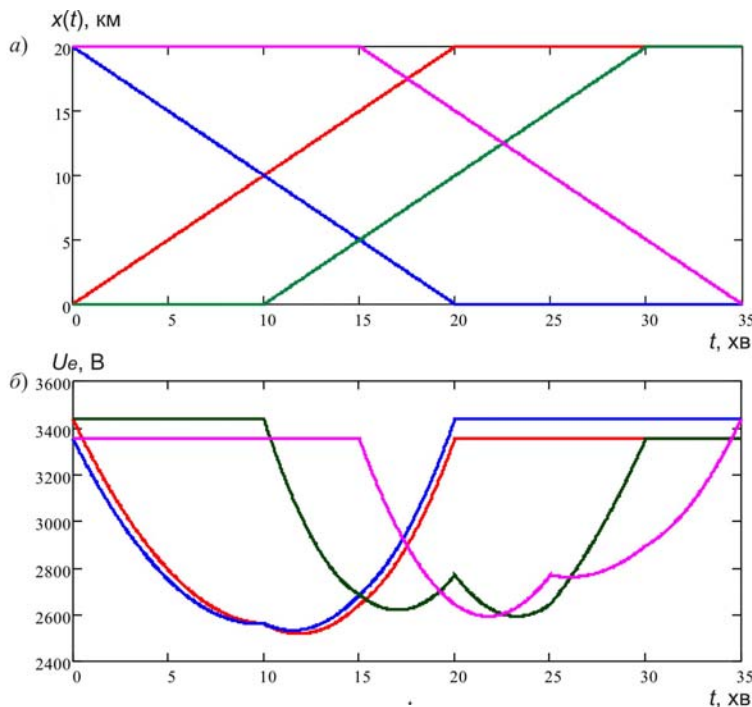


Рис. 1

розрахункової ділянки. Подвійне інтегрування функції розподілу втрат потужності визначає втрати електроенергії на розрахунковій ділянці за період розрахунку.

Просторово-часова модель системи тягового електропостачання ґрунтується на аналітичному описі основних електричних процесів функціями двох змінних, взаємозв'язок між якими визначається графіком руху поїздів (рис. 1, а). На рис. 1, б – вихідні результати розрахунку напруги на струмоприймачах електровозів. Використовуючи інші вихідні дані, визначаються кусочно-задані функції двох змінних, які представляють собою залежності розподілу струмів та втрат напруги в контактній мережі у часі та просторі. Добуток цих просторово-часових функцій визначає розподіл втрат потужності. Інтегрування функції розподілу втрат потужності за координатою простору визначає миттєве значення втрат потужностей у системі електропостачання, а за координатою часу – розподіл втрат електроенергії уздовж

Керування режимами в системах постійного струму. Система електропостачання тяги постійного струму представляє собою розподілену у просторі сукупність електротехнічних пристроїв для живлення електрорухомого складу. Напруга в контактній мережі постійного струму залежить від великої кількості взаємопов'язаних і взаємовпливаючих факторів, та від неї значною мірою залежить швидкість руху поїзду. Збільшення об'єму перевезень та організація руху швидкісних та високошвидкісних поїздів призводить до того, що пристрої тягового електропостачання обмежують пропускну спроможність ділянки електрифікованої залізниці внаслідок зниження напруги нижче нормованих значень. Регулювання напруги на шинах тягових підстанцій не вирішує існуючу проблему через збільшення втрат потужності та експлуатаційних витрат.

Таким чином, виникає необхідність у контролі рівнів напруги у заданому діапазоні на струмоприймачах електрорухомого складу при русі міжпідстанційною зоною за будь-якої кількості поїздів. Для вирішення цього завдання було запропоновано спосіб, який полягає у вимірюванні рівня напруги на шинах 3,3 кВ двох суміжних тягових підстанцій та подальшому обчисленні середньої втрати напруги на струмоприймачі електрорухомого складу. Отримане таким чином середнє значення напруги на струмоприймачі подається на командний пристрій регулювання напруги в системі СТАРНК, а далі – блокам регулювання випрямних агрегатів суміжних тягових підстанцій для підвищення напруги безпосередньо на шинах тягових підстанцій.

Для усунення недоліків з використанням сучасної вимірювальної техніки пропонується стабілізувати напругу в контактній мережі електрифікованої залізниці постійного струму безпосередньо на струмоприймачі кожного електрорухомого складу. Необхідно окрім напруги на шинах суміжних тягових підстанцій додатково виміряти розподіл напруги уздовж міжпідстанційної зони за допомогою пристроїв вимірювання напруги з бездротовою передачею даних. Обробка даних з цих пристроїв визначатиме необхідну потужність генерації підсилюючих пунктів, які розташовуються уздовж електрифікованої ділянки [8].

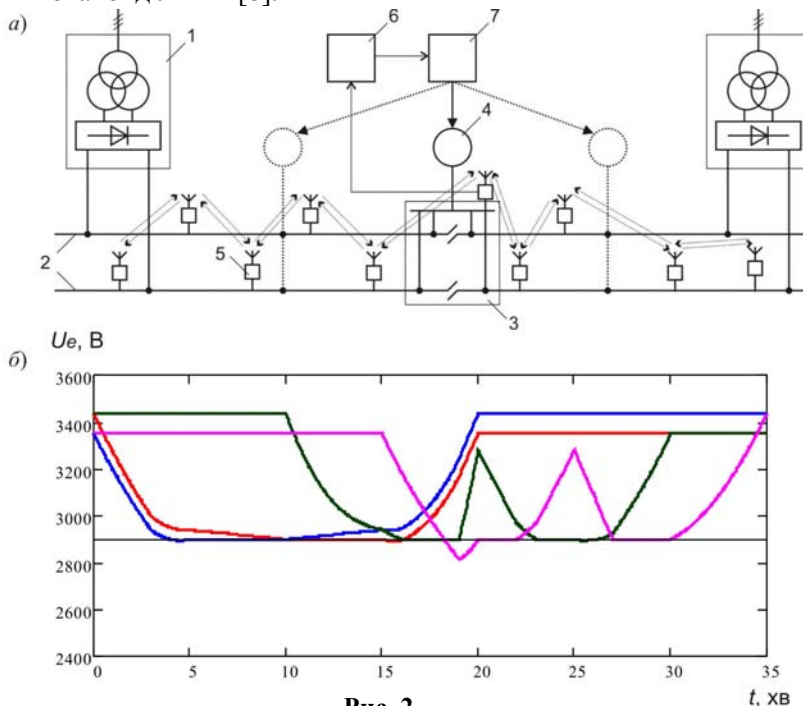


Рис. 2

На рис. 2 зображено схему електропостачання ділянки електрифікованої залізниці із використанням запропонованої системи з відповідними графіками напруги при її стабілізації, де позначено: 1 – тягова підстанція; 2 – контактна мережа; 3 – пост секціонування; 4 – підсилюючий пункт тягової мережі; 5 – пристрій вимірювання напруги з бездротовою передачею даних; 6 – блок декодування даних; 7 – система управління.

Регулювання потужності генерації підсилюючого пункту тягової мережі забезпечує номінальний рівень напруги кожному електрорухомому складі на міжпідстанційній зоні та, в залежності від ситуації, зменшує втрати електроенергії в контактній мережі на 20-30%.

Обробка інформації від розробленої системи з використанням аналітичних методів навіть для сучасної обчислювальної техніки займатиме багато часо-машинних ресурсів. Тому доцільно застосувати апарат нейронних мереж для розрахунку керуючого впливу джерел розосередженої генерації. Навчання нейронної мережі доцільно в такому разі виконати за допомогою аналітичних залежностей, отриманих у результаті складання просторово-часової моделі системи тягового електропостачання.

Керування режимами в системах змінного струму. Для системи електричної тяги змінного струму в нормальному режимі роботи не характерні проблеми з рівнем напруги в контактній мережі. Цьому сприяє майже на порядок вищий рівень напруги та значний резерв потужності на тягових підстанціях. Попри це, система змінного струму характеризується значними перетіканнями реактивної по-

тужності, значним рівнем струмів зворотної послідовності та електромагнітним впливом на оточуюче середовище. Для забезпечення безперебійності технологічного процесу перевезень для більшості ділянок встановлені нормальні схеми паралельної роботи тягових підстанцій. У випадках порушення нормальної схеми живлення в системі зовнішнього електропостачання між векторами однойменних первинних напруг виникає кут зсуву фаз, який викликає відповідну векторну різницю напруг на шинах тягового навантаження підстанцій. Під дією різниці напруг, зумовленою саме кутом зсуву фаз тягової мережі, яка має активно-індуктивний характер, протікає майже активний вирівнювальний струм.

Керування режимом роботи системи змінного струму повинне регулюватися кутом зсуву фаз векторів напруги суміжних тягових підстанцій. Вимірювання цього параметра режиму в умовах експлуатації ускладнюється через необхідність у джерелі опорної напруги або у застосуванні вимушених

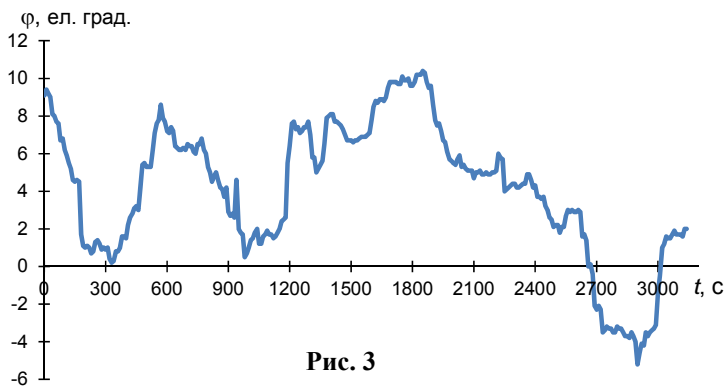


Рис. 3

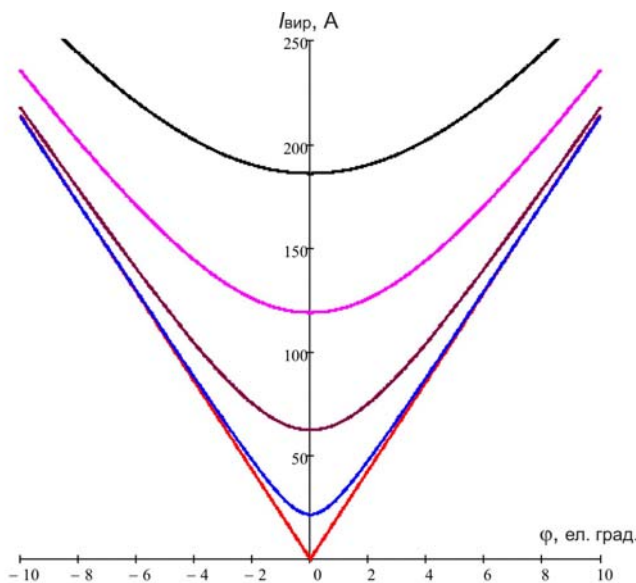


Рис. 4

схем живлення. Для отримання показаної на рис. 3 реєстрограми (зміна кута зсуву фаз між однойменними фазами) застосовують консольне живлення ділянки між суміжними підстанціями та розділення секцій шин 27,5 кВ з підключенням приладів до кожної секції. Сучасні пристрої WAMS PMU дозволяють отримати кути зсуву фаз у результаті прецензійної синхронізації в часі супутниковими каналами зв'язку систем глобального позиціонування.

Активний характер вирівнювальних струмів у такому випадку ускладнює технічну реалізацію заходів протидії транзитним перетіканням. Застосування поперечної компенсації реактивної потужності впливатиме лише на реактивну складову вирівнювального струму. Перемикання положень анцапф трансформатора внесе певні корективи, але без їхнього остаточного уникнення (рис. 4). Вирішення проблеми можливе завдяки застосуванню фазозсуваючих силових трансформаторів з інтелектуальною системою управління. Вимірювальними органами повинні бути пристрої комплексних вимірювань електричних параметрів мережі, а виконавчими – перемикачі обмоток трансформаторів, що виконуються за схемою зигзагу.

Висновки.

1. Розрахунок режимів роботи системи тягового електропостачання з метою виконання оптимізаційних розрахунків чи розробки інтелектуальних систем управління доцільно виконувати в просторово-часових координатах з використанням кусочно-заданих функцій.

2. Система електричної тяги постійного струму підлягає удосконаленню в частині управління режимом напруги безпосередньо на струмоприймачах електровозів, що дозволяє забезпечити нормований рівень при швидкісному та важковаговому русі і значно знизити втрати потужності в тяговій мережі.

3. Ділянки, електрифіковані системою змінного струму, доцільно удосконалювати в частині зниження режимних перетікань транзитної потужності при відхиленнях кута зсуву фаз між однойменними фазами.

1. Босий Д.О. Методика розрахунку миттєвих схем системи тягового електропостачання для споживання постійної потужності // Електрифікація транспорту. – 2014. – № 8. – С. 15-25.

2. Вариводов В.Н., Коваленко Ю.А. Интеллектуальные электроэнергетические системы // Электричество. – 2011. – № 9. – С. 4-9.

3. Засорин С.Н., Карш Н.А., Кучма К.Г., Мирошниченко Р.И. Электронная и ионная техника. – М.: Транспорт, 1973. – 440 с.
4. Кириленко О.В., Блінов І.В., Танкевич С.Є. Smart Grid та організація інформаційного обміну в електроенергетичних системах // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 2. – С. 47–48.
5. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Аналіз світового досвіду та перспектив побудови інтелектуальних енергетичних систем в Україні // Енергетика та Електрифікація. – 2013. – № 12. – С. 47–50.
6. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52–67.
7. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі: світовий досвід і перспективи України // Праці Інституту електродинаміки НАН України: Спец. випуск. – 2011. – Ч. 1. – С. 5–20.
8. Сыченко В.Г., Босый Д.А., Косарев Е.Н. Усовершенствование методологии расчета распределенной системы тягового электроснабжения с усиливающим пунктом // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. Спец. вып. – 2014. – С. 8-18.

УДК 621.331

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ РЕЖИМАМИ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Д.А.Босый

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В.Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, 49010, Украина. E-mail: dake@i.ua

Представлены результаты анализа основных способов усовершенствования управления режимами работы систем тягового электроснабжения постоянного и переменного тока. В качестве методики выполнения расчетов использовано пространственно-временное представление основных электрических величин для систем электрической тяги. Для системы постоянного тока предложено систему стабилизации напряжения на токоприемниках электровозов. В системе переменного тока рассматриваются способы предотвращения протекания уравнительных токов, вызванных отклонениями параметров режима системы внешнего электроснабжения. Библ. 8, рис. 4.

Ключевые слова: система электроснабжения, электрическая тяга, постоянный ток, переменный ток, режимы работы, напряжение, качество электрической энергии, энергоэффективность.

INTELLIGENT SYSTEMS IN THE MANAGEMENT OF MODES IN THE TRACTION POWER SUPPLY SYSTEMS OF THE ELECTRIFIED RAILWAYS

D.O.Bosyi

Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, 2, Lazaryan Street, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine. E-mail: dake@i.ua

The analysis of the main ways to improve the operation control systems of DC and AC traction power supply are shown. As a method of performing calculations used space-time representation of basic electrical values for electric traction systems. For the DC system the voltage stabilization system at the electric current collectors proposed. For the AC system the ways of preventing the flow circulating currents caused by abnormalities mode parameters of the external power supply are discussed. References 8, figures 4.

Key words: power supply system, electric traction, direct current, alternating current, modes of working, voltage, power quality, power effectiveness.

1. Bosiy D.O. Method of calculation the instantaneous schemes of electric traction system for constant power consumption // Elektrifikatsiia Transporta. – 2014. – No 8. – Pp. 15-25. (Ukr)
2. Varivodov V.N., Kovalenko Yu.A. Intelligent power system // Elektrichestvo. – 2001. – No 9. – Pp. 4-9. (Rus)
3. Zasorin S.N., Karsh N.A., Kuchma K.G., Miroshnichenko R.I. Electronic and ionic technics. – Moskva: Transport, 1973. – 440 p. (Rus)
4. Kyrylenko O.V., Blinov I.V., Tankevich S.E. Smart Grid and the information sharing in power systems // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2012. – No 2. – Pp. 47-48. (Ukr)
5. Stognii B.S., Kyrylenko O.V., Denisyuk S.P. Analysis of world experience and prospects of building the Smart Grid systems in Ukraine // Enerhetyka ta Elektryfikatsiia. – 2013. – No 12. – Pp. 47–50. (Ukr)
6. Stognii B.S., Kyrylenko O.V., Prakhovnik A.V., Denisyuk S.P. The evolution of Smart Grids and their prospects in Ukraine // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2012. – No 5. – Pp. 52–67. (Ukr)
7. Stognii B.S., Kyrylenko O.V., Prakhovnik A.V., Denisyuk S.P. Intelligent electricity networks: International experience and prospects of Ukraine // Pratsi Instytutu Elektrodynamiky NAN Ukrainy. Spetsialnyi Vypusk. – 2011. – Part 1. – Pp. 5–20. (Ukr)
8. Sychenko V.G., Bosiy D.A., Kosarev E.N. The methodology improvement for calculating the distribution traction power supply system with enhanced point // Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit. – 2014. – Vol. 2. – Pp. 8-18.

Надійшла 13.04.2015

Остаточний варіант 08.05.2015