

## **Науково-методичні основи оптимізації структурно-параметричних рішень гнучких систем електропостачання в умовах реструктуризації ринку електроенергії**

## **Научно-методические основы оптимизации структурно-параметрических решений гибких систем электроснабжения в условиях реструктуризации рынка электроэнергии**

## **Scientific and methodological fundamentals of structural and parametric in flexible distribution system in terms of electricity market**

**1. Номер державної реєстрації теми - 0115U002514,**  
**2. Науковий керівник - д.т.н., проф. Денисюк С.П., Денисюк С.П., Denysiuk Sergii P.**

### **3. Суть розробки, основні результати.**

Розроблено науково-технічні та методологічні засади:

– побудови гнучких систем електропостачання, алгоритмічного та програмного забезпечення розрахунків для прийняття оптимальних структурно-параметричних компонувальних рішень з урахуванням покриття прогнозних графіків навантажень систем електропостачання (СЕП);

– визначення раціонального складу та параметрів комплексних джерел розосередженої генерації, відповідно до умов їх використання, з урахуванням економічних, екологічних, соціальних та інших факторів;

– розроблення методів оцінювання навантаження окремих вузлів мережі та вихідних характеристик джерел генерації енергії, з урахуванням фактично існуючого в електричних мережах фактору невизначеності інформації;

– розроблення методів і методик здійснення вибору складу та місць розміщення як традиційного, так і сучасного комутаційного обладнання з метою підвищення надійності роботи та стійкості режимів електропостачання в умовах використання засобів розосередженої генерації;

– розроблення алгоритмів ефективного мультиагентного керування режимами роботи комплексних джерел розосередженої генерації при їх автономному використанні, або у випадку їх інтеграції в електропостачальні системи, в умовах запровадження ринку двосторонніх договорів та балансуєчого ринку.

Техніко-економічні розрахунки структурно-параметричних рішень гнучких систем електропостачання виконуються з використанням детерміновано-стохастичних моделей, а оптимальні розв'язки щодо компонувальних варіантів комбінованих енергоустановок для СЕП – вирішенням оптимізаційних задач формування графіків генерації електроенергії та покриття графіків навантажень. Алгоритми мультиагентного керування комбінованими енергоустановками на основі поєднання вимог щодо ефективного керування забезпечують реалізацію основних ідей дослідження.

Здійснюється поєднання окремих вирішуваних задач в єдиний комплекс, з використанням інформаційно-обчислювальних комплексів, автоматизованих систем обліку і керування, напрацьованого методичного та програмного забезпечення побудови і ефективного управління сучасними гнучкими системами електропостачання.

Трансформація існуючих систем електропостачання в інтелектуальні системи згідно загальної концепції Smart Grid пов'язана із забезпеченням ефективного розподілу та споживання енергії, високої надійності енергопостачання, стійкості режимів та якості електричної енергії, за умови широкого використання розосередженої генерації, формування адекватного інформаційно-комунікативного середовища, широкого обґрунтованого впровадження новітніх пристроїв силової електроніки, сучасного комутаційного та захисного обладнання, алгоритмів стимулювання активної поведінки споживачів. Розроблено математичні моделі та методичне забезпечення вирішуваних задач.

Разработаны научно-технические и методологические основы:

- построения гибких систем электроснабжения, алгоритмического и программного обеспечения расчетов для принятия оптимальных структурно-параметрических компоновочных решений с учетом покрытия прогнозных графиков нагрузок систем электроснабжения (СЭС);
- определение рационального состава и параметров комплексных источников рассредоточенной генерации, в соответствии с условиями их использования, с учетом экономических, экологических, социальных и других факторов;
- разработка методов оценки нагрузки отдельных узлов сети и выходных характеристик источников генерации энергии, с учетом фактически существующего в электрических сетях фактора неопределенности информации;
- разработка методов и методик осуществления выбора состава и мест размещения как традиционного, так и современного коммутационного оборудования с целью повышения надежности работы и устойчивости режимов электроснабжения в условиях использования средств распределенной генерации;
- разработка алгоритмов эффективного мультиагентного управления режимами работы комплексных источников рассредоточенной генерации при их автономном использовании, или в случае их интеграции в системы электроснабжения, в условиях внедрения рынка двусторонних договоров и балансирующего рынка.

Технико-экономические расчеты структурно-параметрических решений гибких систем электроснабжения выполняются с использованием детерминировано-стохастических моделей, а оптимальные решения по компоновочным вариантам комбинированных энергоустановок для СЭС - решением оптимизационных задач формирования графиков генерации электроэнергии и покрытия графиков нагрузок. Алгоритмы мультиагентного управления комбинированными энергоустановками на основе сочетания требований по эффективному управлению обеспечивают реализацию основных идей исследования.

Осуществляется сочетание отдельных решаемых задач в единый комплекс, с использованием информационно-вычислительных комплексов, автоматизированных систем учета и управления, наработанного методического и программного обеспечения построения и эффективного управления современными гибкими системами электроснабжения.

Трансформация существующих систем электроснабжения в интеллектуальные системы согласно общей концепции Smart Grid связана с обеспечением эффективного распределения и потребления энергии, высокой надежности энергоснабжения, устойчивости режимов и качества электрической энергии, при условии широкого использования рассредоточенной генерации, формирование адекватной информационно-коммуникативной среды, широкого обоснованного внедрения новейших устройств силовой электроники, современного коммутационного и защитного оборудования, алгоритмов стимулирования активного поведения потребителей.

The scientific-technical and methodological basis:

- build flexible power systems, algorithms and software for the calculation of optimal structural-parametric layout decisions based on the forecast charts covering loads of power supply systems (PSS);
- definition of rational structure and parameters of complex sources of distributed generation, in accordance with the conditions of their use, taking into account economic, environmental, social and other factors;
- development of load assessment methods of individual network nodes and the output characteristics of sources of energy generation, taking into account the fact existing in networks uncertainty factor information;

- development of methods and techniques of the selection of the composition and location of both traditional and modern switching equipment to improve the reliability and stability of power supply modes in the conditions of use of distributed generation;
- the development of efficient algorithms for multi-agent control modes of complex sources of distributed generation when used independently, or in the case of their integration into the electricity system, in terms of bilateral agreements and market introduction of the balancing market.

Technical and economic calculations of structural and parametric solutions flexible electrical systems are performed using deterministic and stochastic models, and best solutions for the layout options for the power plants of combined PSS decision optimization problems form of electricity generation of graphs and charts covering loads. Multi-agent algorithms control the combined power plants based on a combination of requirements for the effective management ensure the implementation of the main ideas of the study.

Implemented by a combination of individual tasks in a single complex with the use of information and computer systems, automated system of accounting and control, accumulated methodological and software construction and effective management of modern flexible power systems.

Transformation of the existing power supply systems in intelligent systems according to the general Smart Grid concept involves ensuring efficient allocation and use of energy, high security of supply, sustainability conditions and the quality of electrical energy, provided wider use of distributed generation, formation of adequate information and communication environment, a wide sound implementation of the latest power electronics devices, advanced switching and protective equipment, algorithms stimulate active consumer behavior.

#### **4. Наявні охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності:**

1) Находов В.Ф., Замулко А.И., Аль Шарари Мохаммад. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір «Механізм целевого управління режимами потреблення електричної потужності в ОЭС України» № 68051 від 29.09.2016 р.

2) Попов В.А., Журавльов А.О., Степанель Я.І., Романюк Р.А. Особливості застосування методу середніх навантажень для розрахунку втрат електричної енергії в системах електропостачання з джерелами розосередженої генерації / Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 66315 від 06.06.2016 р.

3) Волошко А.В., Музика Н.Ю. Метод зменшення методичної похибки прогнозування часових рядів за допомогою їх сегментації на основі аналізу вейвлет-скалограм / Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 65243 від 11.05.2016 р.;

4) Волошко А.В., Бражник К. Метод пірамідальної реконструкції (відновлення) стиснених інформаційних сигналів на основі алгоритму Малла / Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 70330 від 14.11.2016 р.

5) Волошко А.В., Бражник К. Бражник Метод стиснення/відновлення інформаційних сигналів на основі аналізу функціональних зв'язків вейвлет-коефіцієнтів за рівнями декомпозиції / Заявка на реєстрацію авторського права на твір № 70329 від 14.11.2016 р.

6) Коцар О.В., Расько Ю.О., Галабiцький П.М. Методологія побудови індивідуальної прогнозувальної моделі електричного навантаження промислового підприємства – кінцевого споживача електроенергії // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 60988 від 03.08.2015 р.

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Науково-технічний рівень розробки відповідає світовому. Виконана робота не має аналогів щодо комплексного підходу до вирішення проблем побудови гнучких інтелектуальних систем електропостачання, визначення їх оптимальної структури і розроблення методичного, алгоритмічного, програмного та інформаційного забезпечення

керування режимами енергоспоживання для підвищення економічності, надійності та якості енергозабезпечення споживачів. Вирішення поставлених задач реалізується через впровадження оптимальних форм використання новітнього обладнання, залучення засобів розосередженої генерації, управління режимами інтегрованих систем електропостачання у реальному часі на основі мультиагентних систем керування та клієнтоорієнтованого підходу до участі на ринку електроенергії «активного споживача» з перспективою формування інтелектуального ядра електроенергетики згідно концепції Smart Grid.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок.**

Впровадження результатів роботи призводить до підвищення рівня енергоефективності, енергетичної безпеки, стійкості, надійності та керованості електроенергетичних систем, до раціонального використання енергетичного потенціалу регіонів, засобів генерації і енергоресурсів, формування оптимальних графіків енергоспоживання, до зменшення збитків споживачів, до покращення екологічної обстановки. Експертний аналіз свідчить про потенційну можливість покращити показники енергоефективності, внаслідок впровадження наукових розробок, на 5-10 %, за рахунок раціонального енерговикористання. Підтвердженням зазначеного є наявність укладених договорів передачі або впровадження розроблених технологій на загальну суму, яка в 1,2 рази перевищує вартість розробки.

**7. Потенційними користувачами результатів НДР** є підрозділи та установи Міністерства енергетики та вугільної промисловості України, НЕК «Укренерго» та її відокремлений підрозділ Голодерженергонагляд України, Національна комісія регулювання електроенергетики, ДП «Енергоринок», регіональні енергопостачальні компанії, структурні підрозділи, організації і підприємства паливно-енергетичного комплексу України, підприємства електричних мереж, промисловий та комунальний сектори економіки країни. Впровадження розробок сприяє ресурсозбереженню, покращенню стану довкілля, підвищенню надійності енергозабезпечення, зменшенню збитків споживачів внаслідок підвищення надійності електропостачання й якості електричної енергії.

#### **8. Стан готовності розробки.**

Розробка готова до впровадження.

Розроблено: наукові аспекти концепції побудови і керування гнучкими системами електропостачання; методичні основи оцінки стійкості та надійності роботи локальних систем електропостачання; методологію та алгоритми визначення оптимальних режимів роботи комплексних джерел генерації електроенергії та активних споживачів; інформаційне та алгоритмічне забезпечення розв'язання задач залучення оперативних даних при моделюванні процесів в розподільних мережах.

#### **9. Існуючі результати впровадження.**

Наукові результати, отримані в роботі, впроваджуються при здійсненні енергетичних обстежень промислових і муніципальних об'єктів, використовуються при розробленні галузевих нормативно-технічних документів.

Матеріали роботи використано для підготовки докторських та кандидатських дисертацій. Захищено:

- дисертацію на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук «Наукові засади побудови систем електропостачання з джерелами розосередженої генерації в умовах невизначеності інформації» Попов В.А., 15.12.2015 р.

- дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук:

1. «Моделі та методи діагностування силових трансформаторів в електричних мережах напругою 6–110 кВ», Притискач І.В., 07.04.2015 р.;

2. «Оцінювання режимів роботи інтегрованих енергопостачальних систем при невизначеності інформації» Ярмолюк О.С., 13.05.2015 р.;

3. «Комплексне оцінювання ефективності управління режимами електроспоживання», Веремійчук Ю.А., 06.10.2015 р.;

4. «Оцінювання ефективності регулювання енергетичних процесів в локальних електротехнічних системах з джерелами розосередженої генерації», Дерев'янку Д.Г., 20.12.2016 р.;

5. «Підвищення енергоефективності локальних систем енергопостачання з активними споживачами та розосередженою генерацією» Базюк Т.М., 20.12.2016 р.

Розроблено 8 нових навчальних курсів: «Технічні засоби гнучкого керування режимами електричних систем», «Інформаційні та комунікаційні технології в системах електропостачання», «Електромагнітна сумісність в інтегрованих системах електропостачання», «Технічні засоби гнучкого керування режимами електричних систем», «Силова електроніка в системах перетворення параметрів електричної енергії», «Аналіз та експертиза проектів енергопостачання», «Розробка та впровадження систем енергетичного менеджменту», «Нормативно-правове забезпечення енергоменеджменту». Створено нову «Лабораторію енергоефективних технологій» на сучасному обладнанні ДП «Вайлант група Україна» для забезпечення нових навчальних курсів та проведення досліджень і підвищення кваліфікації. Технічні рішення і методики пропонуються до впровадження для перепідготовки та підвищення кваліфікації фахівців у Центрі підготовки енергоменеджерів Інституту енергозбереження та енергоменеджменту КПІ ім. Ігоря Сікорського.

#### **10. Форма участі інвестора.**

Інвестиції можуть здійснюватись власниками об'єкту, для державних закладів та підприємств – фінансування з місцевого бюджету. У такому разі реалізація проекту повинна призводити до економії сумарних витрат на енергоресурси. При здійсненні інвестицій банками, частка від прибутку повинна йти на повернення кредиту.

#### **11. Обсяг інвестицій.**

Сума інвестицій залежить від ряду факторів: специфіки об'єкту, виробничих технологій, рівнів і ефективності існуючого споживання енергетичних ресурсів, тощо.

Передбачається проведення енергетичного аудиту об'єкта, створення проекту підвищення енергоефективності і подальшої його реалізації. Сума може становити від десятків до сотень тисяч доларів США.

#### **12. Мета інвестицій.**

Сприяння ресурсозбереженню, покращенню стану довкілля, підвищенню енергоефективності, керованості процесу енергозабезпечення, підвищенню надійності електропостачання та якості електричної енергії, зменшенню витрат на виробництво, передачу та використання паливно-енергетичних ресурсів енергосистеми та споживачів.

#### **13. Назва підрозділу, телефон, e-mail.**

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, кафедра електропостачання, (044) 204-86-07, spdens@ukr.net.

#### **14. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання.**

1. Базюк Т.М., Блінов І.В., Буткевич О.Ф., Денисюк С.П. та інш. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими / За заг. ред. акад. НАН України О.В. Кириленка / Інститут електродинаміки НАН України. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с. (ISBN 978-966-02-7913-1).

2. Денисюк С.П., Коцар О.В., Чернецька Ю.В. Енергетична ефективність України. Кращі проектні ідеї [електронне видання]: Проект «Професіоналізація та стабілізація енергетичного менеджменту в Україні». – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 72 с.

3. Foresight of Ukrainian Economy: mid-term (2015–2020) and long-term (2020–2030) time horizons / Scientific advisor of the project acad. of NAS of Ukraine M. Zgurovsky // International Council for Science (ICSU); Committee for the System Analysis of the Presidium of NAS of Ukraine; National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»; Institute for Applied System Analysis of NAS of Ukraine and MES of Ukraine; World Data Center for Geoinformatics and Sustainable Development. – 2nd ed. – Kyiv:NTUU «KPI», Publ. house «Polytechnica», 2016. – 136 p.

4. Форсайт та побудова стратегії соціально-економічного розвитку України на середньостроковому (до 2020 року) і довгостроковому (до 2030 року) часових горизонтах / наук. керівник проекту акад. НАН України М.З. Згуровський // Міжнародна рада з науки; Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; Інститут прикладного системного аналізу МОН України і НАН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку; Фундація «Аграрна наддержава». – К. : вид-во «Політехніка», 2016. – 184 с. (ISBN 978-966-622-782-2).

5. Денисюк С.П. ISO 50001: цілі стандарту та перспективи його впровадження в Україні / Навч. посібник. – К. : Наш формат, 2015. – 188 с.

6. Денисюк С.П., Кузнецов В.Г., Сиченко В.Г., Крупинський О.М. Енергозбереження та енергетичний менеджмент у пристроях тягового електропостачання: навчальний посібник. – Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015. – 264 с. (ISBN 978-966-8471-64-3).

7. Банузаре Сахрагард С., Попов В.А., Ткаченко В.В., Журавлев А.А., Шпак Д.В. Оценка затрат энергоснабжающей компании на поддержание нормированного уровня надежности электроснабжения потребителей в условиях применения распределенной генерации // Восточно-европейский журнал передовых технологий / Наук. журнал. – Харків, 2016. – № 1/8 (79). – С. 58–63.

8. Денисюк С.П. Аналіз та оптимізація енергопроцесів в розосереджених електроенергетичних системах // Технічна електродинаміка. – 2016. – № 4. – С. 62–64.

9. Денисюк С.П., Горенко Д.С. Аналіз обмінних процесів при паралельній роботі вітроелектричних установок // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2016. – № 4/8 (82). – С. 26 – 32.

10. Кириленко О.В., Рибіна О.Б., Танкевич С.Є. Методологія розроблення мультиагентних систем керування в електроенергетиці // Технічна електродинаміка. – 2016. – № 4. – С. 59 – 61.

11. Кузнецов Б.И., Туренко А.Н., Никитина Т.Б., Волошко А.В., Коломиец В.В. Метод синтеза замкнутых систем активного экранирования магнитного поля воздушных линий электропередачи / Технічна електродинаміка. – 2016. - № 4. – С. 8–10.

12. Опришко В.П. Регулювання режимів електропостачання в локальних системах microgrid / Технічна електродинаміка. – 2016. - № 4. – С. 77–79

13. Blinov I., Tankevych S. The harmonized role model of electricity market in Ukraine / 2nd IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). – 2016. – P. 107–109.

14. Denysiuk S., Prytyskach I. Dynamic Estimation of the Diagnostic Parameters of the Electric Power System Elements // Proc. Int. Conf. CPE-POWERENG-2016 10th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering, IEEE Power Eng. Soc. – Poland, Bydgoszcz, 2016.

15. Веремійчук Ю.А., Притискач І.В., Ярмолюк О.С., Опришко В.П. Аналіз функціонування інтегрованих енергопостачальних систем з енергетичними хабами [Текст] // ScienceRise / Науковий журнал. – Харків : НВП ПП «Технологічний Центр», 2016. - № 9/2 (26). – С. 12-18.

16. Жаркин А.Ф., Попов В.А., Сахрагард С.Б., Замковой П.А., Сподинская А.В. Многокритериальная оценка альтернативных вариантов интеграции источников распределенной генерации в распределительные сети [Текст] // Электронное моделирование. – 2016. – № 1. – С. 99–112.

### **15. Ключові слова до розробки.**

Гнучкі інтелектуальні системи електропостачання, розосереджена генерація, активний споживач, моделювання режимів, надійність, тарифи на енергію, системи контролю ефективності використання енергоресурсів.