

Відгук

Офіційного опонента на дисертацію Мірошника Володимира Олександровича
“Короткострокове прогнозування електричного навантаження енергосистем з
використанням штучних нейронних мереж глибокого навчання”,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.14.02 - електричні станції, мережі і системи

1. Актуальність теми дисертації

Наразі функціонування електроенергетичної системи (ЕЕС) України відбувається в напружених умовах внаслідок впливу наступних факторів: значне зношення електрообладнання, що охоплює до 60-70 % всього обладнання та низькі темпи його заміни та модернізації; ринкові відносини електроенергетиці спричиняють максимально напружений режим експлуатації електрообладнання; поступове зниження кваліфікації оперативного персоналу, що призводить до збільшення помилкових дій; суттєве збільшення частки відновлюваних джерел в структурі генеруючих потужностей енергосистем.

Всі ці фактори призводять до підвищення аварійності в ЕЕС і зниження надійності електропостачання споживачів.

В цих об'єктивно існуючих умовах функціонування енергосистеми України загострюються проблеми забезпечення оптимальних режимів ЕЕС за активною потужністю, планування ремонтного обслуговування силового і комутаційного обладнання, оцінки режимної надійності і граничних режимів ЕЕС.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми, прийняття рішень щодо планування режимів енергосистем і оперативно-диспетчерського управління є забезпечення достовірного прогнозу електричного навантаження, зокрема, короткострокового прогнозування сумарного навантаження з горизонтом упередження від 1 до 7 діб.

Існуючі на сьогоднішній день традиційні методи і моделі прогнозування електричних навантажень не завжди на практиці відповідають сучасним вимогам і не забезпечують якісний прогноз.

Тому тема дисертаційної роботи Мірошника В.О., яка присвячена розв'язанню актуальної науково-технічної задачі короткострокового прогнозування погодинного електричного навантаження енергосистеми компанії зі значною часткою енергоємних підприємств та електростанцій з відновлюваними джерелами енергії з використанням штучних нейронних мереж глибокого навчання є актуальною.

Метою дисертаційної роботи Мірошника В.О. є удосконалення методів, розроблення моделей та засобів для підвищення точності і надійності результатів короткострокового прогнозування сумарного навантаження енергосистеми з суттєвою часткою енергоємних підприємств та відновлюваних джерел енергії, що і визначає її актуальність. Зокрема досліджено вплив температури навколишнього середовища на сумарне електричне навантаження енергосистеми та енергоємних підприємств; вдосконалено методи короткострокового прогнозування електричного навантаження енергоємних підприємств, виявлення і зміни аномальних значень в часових рядах електричного навантаження, врахування річної періодичності при короткостроковому прогнозуванні навантаження; розроблено модель штучної нейронної мережі глибокого навчання для короткострокового

прогнозування електричного навантаження і обсягів відпуску електроенергії електростанціями з відновлюваними джерелами енергії та підтверджена її адекватність.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана у відповідності з планами науково-дослідних робіт Інституту електродинаміки НАН України: “Розробка методики і програмного комплексу ретроспективного аналізу, статистичної обробки та адаптивного короткострокового прогнозування добових графіків сумарного електричного навантаження енергопостачальних компаній“, шифр “Об’єднання-3“ (№ ДР 0116U006639), 2016-2018рр., ”Розвиток засобів комп’ютерного моделювання ЕЕС для оперативного та короткострокового прогнозування навантаження та рівня стійкості ОЕС України“, шифр ‘Система-6’ (№ДР0115U005309), 2016-2020 рр., “Створення науково-технічних основ інтелектуалізації технологічних процесів та засобів вимірювання, керування, моніторингу і діагностування в електроенергетичних та електротехнічних системах“ шифр “Інтехен“ (№ДР0118U005367), 2018-2019 рр.

3. Короткий аналіз змісту дисертації і відповідність його поставленим задачам(Загальна оцінка дисертаційної роботи)

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 164 сторінки, у тому числі 129 сторінок основного обсягу, 27 таблиць, 37 рисунків та 4 додатки. Список використаних джерел містить 145 найменувань, із них 81 кирилицею та 64 латиницею .

У вступі обгрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету і задачі досліджень, наведено відомості про зв'язок роботи з науковими програмами, зазначено наукову новизну і практичну цінність роботи, дані щодо апробації і публікацій результатів досліджень.

У першому розділі доведена важливість задачі якісного прогнозування електричного навантаження для забезпечення надійної роботи енергосистем. Обгрунтовано актуальність короткострокового прогнозування електричного навантаження в умовах збільшення генерації від електричних станцій з негарантованим графіком і нарощення потужностей акумуляування енергії та необхідність подальшого вдосконалення методів і засобів короткострокового прогнозування електричного навантаження. Проаналізовано задачі прогнозування електричного навантаження на основі часових рядів, виділено причини виникнення похибок та сформовано стратегії підвищення якості результатів прогнозування. Описано (дані характеристики) сучасних моделей для прогнозування сумарного електричного навантаження, які представлені в вітчизняних та зарубіжних роботах .

В другому розділі проаналізовано вплив зовнішніх факторів, зокрема, календарних, метеорологічних, астрономічних, технологічних на сумарне електричне навантаження. Автором досліджено вплив похибки прогнозу температури навколишнього середовища на похибку прогнозу сумарного електричного навантаження. На основі проведених розрахунків вдосконалено метод прогнозування СЕН з врахуванням впливу режимів роботи енергоємних підприємств. Досліджено вплив зміни структури навантаження енергосистеми протягом року на точність короткострокового прогнозування СЕН .

Третій розділ присвячений розробленню моделі короткострокового прогнозування СЕН енергосистеми за допомогою НМ типу багат шаровий персептрон. Автором проаналізовано особливості одиночних та групових аномальних значень в ретроспективних даних, які зустрічаються в часових рядах електричного навантаження, вдосконалена методика та алгоритм їх ідентифікації та відновлення, що дає можливість знизити похибки прогнозу. Доведено можливість використання даних довготривалої передісторії для формування графіків навантаження і підвищення точності прогнозів електричного навантаження нерегулярних днів. Запропоновано підхід до вирішення проблеми малої кількості статистичних даних для побудови моделі прогнозування СЕН та алгоритм багат факторної моделі нерегулярних днів.

У **четвертому розділі** розроблено архітектуру штучної нейронної мережі глибокого навчання для короткострокового прогнозування електричного навантаження та сумарного відпуску електроенергії виробниками з ВДЕ. На основі проведених розрахунків встановлено, що запропонована архітектура штучної нейронної мережі глибокого навчання здатна забезпечувати точніші прогнози в порівнянні з багат шаровим персептроном за наявності достатньої кількості даних. Зокрема, розрахунковим дослідженням в роботі показано, що використання штучної нейронної мережі глибокого навчання для короткострокового сумарного електричного навантаження зменшує похибку прогнозу до рівня 3.69%, а у випадку прогнозування обсягів відпуску електричної енергії електростанціями з ВДЕ на добу наперед максимальна похибка знижується з 21.8% до 12.8%.

Таким чином, Мірошник В.О., провівши сукупність наукових досліджень, використавши сучасні методи і технічні засоби, виконав сукупність наукових досліджень, розв'язав поставлені перед ним задачі і досяг поставленої мети - удосконалення методів, розроблення моделей та засобів для підвищення точності і надійності результатів короткострокового прогнозування сумарного навантаження енергосистеми з суттєвою часткою енергоємних підприємств та відновлюваних джерел енергії.

4. Практична цінність отриманих результатів

Виходячи з наведених в дисертаційній роботі теоретичних і практичних результатів, можна зробити висновок, що практична реалізація роботи дає змогу гарантувати забезпечення підвищення точності і стабільності короткострокового прогнозування сумарного електричного навантаження енергосистем та обсягів відпущеної електричної енергії електростанціями з ВДЕ. Практична цінність роботи полягає у наступному:

1. Розроблено архітектуру нейронної мережі і програмне забезпечення, що дозволяє підвищити точність і стабільність короткострокового прогнозування сумарного електричного навантаження енергосистем ;

2. Розроблено рекомендації щодо врахування графіків споживання електричної енергії енергоємними підприємствами при прогнозуванні СЕН енергосистеми практичне застосування яких дозволяє підвищити точність моделювання залежності електричного навантаження від метеорологічних факторів;

3. Розроблені рекомендації щодо підвищення ефективності виявлення та заміни аномальних даних в часових рядах електричного навантаження ;

4. Розроблені рекомендації щодо підвищення точності та стабільності короткострокового прогнозування обсягів відпуску електричної енергії електростанціями з ВДЕ з застосуванням розробленої штучної нейронної мережі глибокого навчання.

Окремі результати роботи використані у вигляді аналітичних довідок Державного підприємства "Енергоринок" та Міністерства енергетики та захисту довкілля, навчальному процесі під час виконання дисциплін з підготовки магістрів наукового і професійного спрямування в Інституті енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ "КПІ" ім. Ігоря Сікорського.

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна

В дисертаційній роботі, Мірошник В.О. отримав такі основні результати, які мають наукову новизну:

1. Розроблено модель багатофакторного короткочасного прогнозування електричного навантаження енергосистем на основі штучної нейронної мережі глибокого навчання, що дозволяє зменшити похибку прогнозів за рахунок використання блоків автокодувального типу з обхідними з'єднаннями.

2. Отримав подальший розвиток метод прогнозування сумарного короткострокового електричного навантаження енергосистеми зі значною часткою енергоємних виробництв шляхом побудови та використання моделей для навантаження різних типів, що виключає спотворення модельованої залежності навантаження та дозволяє знизити похибку прогнозів урахуванням впливу метеорологічних чинників та фактору різкої зміни режимів роботи енергоємних підприємств.

3. Удосконалено метод виявлення та заміни аномальних значень в даних сумарного електричного навантаження енергосистеми та енергоємних виробництв шляхом застосування дворівневої три етапної процедури корегування добових графіків навантаження та розробленого критерію оцінки спотворення графіка навантаження, що сприяє підвищенню точності і стабільності результатів прогнозування.

4. Удосконалено метод однофакторного короткострокового прогнозування відпуску електричної енергії електростанціями з відновлюваними джерелами енергії шляхом використання розробленої штучної нейронної мережі глибокого навчання, що дозволяє визначити довірчий інтервал фактичного відпуску електроенергії такими електростанціями з наперед заданою імовірністю та забезпечує підвищення точності прогнозів.

Загальні положення, висновки по розділах і по роботі в цілому відповідають змісту дисертації є об'єктивними, обґрунтованими і базуються на використанні апарату математичної статистики, методів чисельної оптимізації, методів аналізу часових рядів, методів машинного навчання, математичного моделювання, комп'ютерного моделювання.

Достовірність результатів математичного і комп'ютерного моделювання забезпечена коректністю використання математичного апарату та наукових положень, підтверджена багаточисленними розрахунками з використанням розробленого програмного забезпечення та порівнянням результатів досліджень, а також результатами розв'язання за допомогою розроблених автором моделей конкретних задач прогнозування електричного навантаження енергосистем з електростанціями різних типів.

Основні результати досліджень є **достатньо апробовані**. Вони висвітлені у 14 наукових працях, у тому числі 1' розділ монографії, 11 статтях в наукових фахових виданнях України(з них 3 статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародної наукометричної бази Scopus), 2-х тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій та авторське свідоцтво на комп'ютерну програму.

Аналіз робіт дозволяє зробити висновок, що в них в повному об'ємі опубліковані матеріали дисертації. В цілому, рівень і кількість публікацій, апробація матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам, що встановлені директивними документами.

Автореферат дисертації повністю відображає основні положення дисертаційної роботи. В ньому розкрито внесок дисертанта в даний науковий напрям,показані новизна розробок, теоретичні і практичні значення результатів проведених досліджень. Автореферат відповідає змісту роботи та документу 'Основні вимоги до дисертацій та авторефератів дисертацій'.

6. Зауваження

1. В першому розділі проводиться аналіз сучасних традиційних і нейромережових методів та моделей прогнозування сумарного електричного навантаження енергосистем, але не наведено відповідного математичного опису.
2. В роботі є граматичні помилки: розділ 2 - стор. 49, 59; розділ 3 - стор. 88, 89; розділ 4 - стор. 107. Окрім того в деяких розділах порушена послідовність між наведеними таблицями і рисунками та посиланнями на них в тексті (таблиця 3.3, рис.3.4, рис.3.5, рис.4.3).
3. Вихідна інформація по активному навантаженню має певний рівень нечіткості. В роботі варто було б це врахувати. Яким чином можна виконати прогнозування сумарного електричного навантаження енергосистеми на основі використання нечітких нейронних мереж глибокого навчання?
4. В роботі розглядаються питання прогнозу короткострокового прогнозу сумарного електричного навантаження енергосистеми. Але в задачах аналізу нормальних і аварійних режимів енергосистем важливо знати прогнозовані значення вузлового навантаження. Яким чином на основі розроблених в роботі методів і моделей короткострокового прогнозування сумарного електричного навантаження можна отримати прогноз вузлового навантаження, зокрема з використанням інверсії штучної нейронної мережі?
5. З роботи не ясно, як забезпечується прогнозування реактивної потужності сумарного навантаження енергосистеми і потужних промислових підприємств.
6. Для підтвердження адекватності отриманих в дисертаційній роботі результатів дослідження автором представлено порівняння розрахунків виконаних на основі використання нейронних мереж глибокого навчання з іншими методами прогнозування електричного навантаження енергосистеми. В роботі варто було б виконати порівняння

отриманих результатів з результатами нейромережевого прогнозування навантаження, що ґрунтуються на основі використання методу групового врахування аргументів.

7. В четвертому розділі в таблицях 4.2-4.6 представлені порівняльні характеристики результатів прогнозування відпуску електроенергії з ВДЕ виробників, наданих гарантованим покупцем та ІЕД, але не надано відповідної вихідної інформації з використанням якої здійснювався прогноз.

Зазначені зауваження не мають принципового характеру, не ставлять під сумнів наукову новизну та достовірність отриманих результатів. Вони не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Мірошника В.О., її наукову новизну і практичну цінність.

7. Висновки

Зміст дисертаційної роботи, Мірошника Володимира Олександровича відповідає спеціальності 05.14.02-'Електричні станції, мережі і системи', за якою вона представлена до захисту. Дисертаційна робота має наукову новизну, є закінченою науково-дослідною роботою, яка присвячена розв'язанню актуальної науково-технічної задачі короткострокового прогнозування погодинного електричного навантаження енергосистеми компанії зі значною часткою енергоємних підприємств та електростанцій з відновлюваними джерелами енергії з використанням штучних нейронних мереж глибокого навчання. Матеріали дисертації, щодо проведених досліджень, одержаних результатів, наукових положень і висновків викладені логічно і аргументовано. Використані літературні джерела та посилання на них відображають сучасний стан задач, які вирішувались у дисертаційній роботі.

За актуальністю теми, ступенем обґрунтованості наукових положень, достовірністю та науковою новизною, практичною цінністю і повнотою викладу в опублікованих працях, вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам п. п. 9, 11, 12 'Порядку присудження наукових ступенів', затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567(зі змінами, затвердженими Постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 р., № 565), а її автор - Мірошник Володимир Олександрович, заслуговує на наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02-електричні станції, мережі і системи.

Офіційний опонент,
Доцент кафедри
Відновлюваних джерел енергії
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»



Пост. до СВР
25.08.21р
@