



СТАНОВИЩЕ

относно присъждане на образователната и научна степен "Доктор"

Област на висше образование: 5. Технически науки,

Професионално направление: 5.2 Електротехника, електроника и автоматика, Научна специалност:
02.21.01. Приложение на принципите и методите на кибернетиката в различни области на науката

Автор на дисертационния труд: инж. Екатерина Поповска Славова, Институт по роботика при Българска академия на науките (ИР-БАН)

Член на научно жури: проф. д-р инж. Галина Тодорова Богданова – Тодорова, Институт по математика и информатика при Българска академия на науките (ИМИ-БАН)

Тема на дисертационния труд: Математически методи за изследване, моделиране, анализ и прогнозиране в енергетиката и енергийните пазар

Научен консултант: доц. д-р Галя Георгиева – Цанева, ИР-БАН

1. Актуалност на разработения в дисертацията проблем

Дисертационният труд е ориентиран към изследвания в областта на математическите методи за вероятностно прогнозиране на времевите серии на цените на електроенергията.

Тази тематика е изключително актуална и перспективна за изследване. През последните две десетилетия се осъществиха промени в бизнеса с електроенергия. Създадоха се конкурентни дерегулирани пазари за електроенергия, където потребителите избират своя доставчик и борси за покупка и продажба на електрическа енергия. В резултат на тези процеси прогнозирането на цените на електроенергията (ПЦЕ) се превърна във водещ фактор при вземането на важни решения от енергийните компании. ПЦЕ е една сложна задача и една от основните области на научните изследвания в енергийните пазари, където има още много отворени въпроси и редица трудности при решаването им.

2. Степен на познаване състоянието на изследвания проблем

В дисертационния труд са цитирани 139 източника като всички източници са на английски език. Направено е обстойно литературно проучване на източници по темата. Широкото проучване на изследвания по тематиката, прецизно използваният научен апарат и творческото анализиране показват доброто ниво на компетентност и задълбочените познания по тематиката на докторантката.

3. Обща характеристика на дисертационния труд

Дисертационният труд се състои от 183 страници (увод, четири глави, заключение, приноси, списък на използвана литература /139 източника на латиница/, списък с публикации по темата на дисертацията /6/ и приложения (22 страници). Структурата и обемът на работата отговарят на изискванията.

3.1 Авторът проучва и прави **обзор на изследвания** на водещи световни и български автори относно методите за прогнозиране, моделиране и анализ в енергетиката и енергийните пазари.

Разгледани са енергийните пазари в контекста на изследването на цените, методите за прогнозиране, обработка и анализ на цените на енергията, дългосрочни и краткосрочни методи за прогнозиране, обработка и анализ на цените на енергията, основните аспекти на пазарите на енергия и факторите за анализ и ПЦЕ. Показани са новостите и актуалните тенденции в развитието на методите за прогнозиране на времевите серии от цени на енергия.

Дефинирани са **основната цел и четирите задачи на дисертационния труд**.

3.2 Представени са методи за изследване на дългосрочна устойчивост на времеви серии от данни на борсови цени на електроенергия. Описано е използването на фрактален анализ на времевите редове за пресмятане на експонента на Хърст чрез R/S метода. Изследвани са времевите редове чрез метода на флуктуационен анализ с елиминиране на хода (Detrended Fluctuation Analysis, DFA). Направени са изводи от изследванията във втората част.

3.3 Разгледани са приложимите методи за изследване на краткосрочна устойчивост на времеви серии от данни на борсови цени на електроенергия.

Представени са Авторегресивният модел с интегрирана подвижна средна (ARIMA) за прогнозиране на времевите редове от цени на електрическата енергия на пазар „Ден напред“ и прогнозиране на цените на електроенергията на пазар „Ден напред“ чрез модела на рекурентната невронна мрежа с дългосрочнократкосрочна памет (Long shortterm memory networks - LSTM). Изведени са резултати и са направени изводи.

3.4 Разгледано е отчитането на данните и анализа на резултатите от емпиричното изследване.

Обобщава заложеното в рамката на това изследване. Използвани са: фрактален анализ на времевите редове за пресмятане на експонента на Хърст чрез R/S метода; Емпиричен анализ на времевите серии на цените на електроенергия чрез DFA; Емпиричен анализ и резултати от моделите за прогнозиране на времевите серии от дневни и месечни цени на електроенергия чрез ARIMA; Емпиричен анализ на времевите серии на цените на електроенергия чрез рекурентна невронна мрежа с дългосрочнократкосрочна памет. Представени са получените резултати чрез различните модели.

3.5 Дисертационният труд завършва със **заключение, съдържащо обобщени ключовите констатации от изследването и интерпретирани получените резултати.**

Изведени са **основните приноси** на дисертационния труд.

В дисертацията има съответствие на избраните методики на изследване с поставените цел и задачи на дисертационния труд. Докторантката е показала познаване на изследваните проблеми и е предложила успешни методи и подходи за тяхното решаване. Създадени са нови методики, реализирани са софтуерни алгоритми, анализи, формулирани са доказателства. Чрез създадената методология и разработения софтуер се дава завършено решение на проблемите. Основната цел и поставените задачи са изпълнени.

Последователността и логиката на изследванията доказват творческата задълбоченост на докторантката и достоверността на направените изводи и приноси. Постигнатите резултати и публикации са гаранция за добрата подготовка и познаване на изследваната тема.

4. Приноси в дисертационната работа

В дисертационния труд са постигнати следните приноси:

4.1 Приноси с научно-приложен характер

Създадени са нови методики и формулирани доказателства чрез експериментални изследвания и анализи.

- Две нови методики:
 - за изследване, анализ и ПЦЕ, базирана на ARIMA, SARIMA и LSTM методи, даващи оптимални прогнози за цените на пазара на електроенергия в зависимост от различните входни фактори.
 - за изследване и анализ на дългосрочната устойчивост на времевите серии от данни на борсови цени на електроенергия, базирана на метода DFA, което не е правено досега.
- Две експериментални доказателства:
 - изследвано е експериментално приложението на статистически методи за определяне на експонентата на Хърст (R/S метод) върху цените на електроенергията. Изследванията показват максимална относителна грешка 6% при изчисляване на H, което показва приложимостта на този метод за проучване на фракталността на времевите серии на цените на електроенергията.
 - доказано е с експериментални изследвания, че DFA методът е по-подходящ при прогнозиране на продължителни данни за цената на електроенергията в сравнение с R/S метода. Направеният сравнителен анализ показва максимална относителна грешка при определяне на експонентата на Хърст 1.2% при прилагане на DFA срещу 6% при реализация с R/S статистически метод.
- Доказателство чрез анализ – при анализ на краткотрайните данни е доказано преимущество на прогнозирането с помощта на SARIMA метода (в сравнение с ARIMA метода), тъй като променливият характер на цените на електроенергията показва сезонност.

4.2 Приноси с приложен характер.

Реализирани са два софтуерни алгоритъма и процедура за анализ и прогнозиране.

- реализирани са софтуерно и анализирани алгоритми за анализ и прогнозиране на дългосрочни данни за цените на електроенергията на базата на прилагане на R/S метода за определяне на експонентата на Хърст и DFA метода.
- реализирани са софтуерно и анализирани алгоритми за анализ и прогнозиране на краткосрочни данни за цените на електроенергията на базата на прилагане на методите ARIMA, SARIMA и LSTM.
- създадени са демонстрационни процедури за анализ и ПЧЕ в зависимост от вида на зададени входни параметри.

Приемам формулираните от докторантката научно-приложни (7) и приложни приноси (3) в дисертационния труд и отбелязвам тяхното значение за разглежданата научна област.

5. Публикации и цитирания по дисертационния труд

Авторът има 6 публикации в списъка с публикации. Публикациите се отнасят за изследвания по тематиката на дисертационния труд и покриват минималните изисквания. Две от публикациите имат SJR (0.2 и 0.182), а 4 от публикациите са в сборници от международни научни форуми. Всички публикации са съвместни и са на английски език.

Авторът има 7 известни цитирания на три от публикациите в списъка с публикации по дисертацията.

6. Оценка на съответствието на автореферата към дисертационния труд

Авторефератът съдържа 47 страници. Има добро оформление и структура.

Има съответствие на автореферата към дисертационния труд като структурата му (с малки изключения) следва тази на дисертацията. В него са описани накратко всичките пет части на дисертационния труд и адекватно са отразени основните положения в дисертацията (проведените изследвания и анализи, получените резултати, изводите и приносите).

7. Критични бележки и препоръки по дисертацията

Нямам съществени критични забележки по съдържанието на дисертацията и въпроси към докторантката.

Забелязани са някои правописни и синтактични грешки, както и липса на литературни източници в автореферата.

Препоръчвам докторантката да опише в бъдеще своите изследвания и в друг формат (например като монография).

8. Мотиви и ясно формулирано заключение

Моето заключение за научните постижения на докторантката се базира на предоставените материали по дисертацията. Представеният дисертационен труд отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България, Правилника към Закона за развитие на академичния състав в Република България, Правилниците на БАН и на ИР-БАН. Дисертацията има актуална и значима тематика, добра структура и начин на изложение, достатъчен обем и брой публикации с предложени научни решения. Наукометричните показатели на докторантката и постигнатите резултати ми дават основание за положителна оценка. Предлагам на научното жури да бъде присъдена образователната и научна степен „Доктор“ на инж. Екатерина Поповска Славова в Област на висше образование 5.Технически науки, Професионално направление 5.2. Електротехника, електроника и автоматика, Научна специалност: 02.21.01. Приложение на принципите и методите на кибернетиката в различни области на науката.

19.01.2024 г.

Член на научното жури:

(проф. д-р инж. Галина Богданова)