

ИР - БАН
Вх. № 53/26.01.2024 г.

РЕЦЕНЗИЯ

от

проф. д-р Олимпия Роева

Институт по биофизика и биомедицинско инженерство – БАН
секция Биоинформатика и математическо моделиране

за придобиване на образователната и научна степен „доктор“,

Област на висше образование: 5. Технически науки

Професионално направление:

5.2 Електротехника, електроника и автоматика,

Научна специалност: 02.21.10 Приложение на принципите и методите на
кибернетиката в различни области на науката

Автор на дисертационния труд

маг. инж. Екатерина Поповска-Славова

Тема на дисертационния труд

„Математически методи за изследване, моделиране, анализ и прогнозиране
в енергетиката и енергийните пазари“

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение

През последните години изследователите се опитват да предложат ефективни алгоритми за прогнозиране на цените на пазара на електроенергия. Разработването на стратегии и алгоритми за прогнозиране на цената на електроенергията е особено актуална тематика, тъй като точната информация за бъдещата цена е най-доброят начин за участниците на пазара да приложат стратегии за увеличаване на печалбата си.

В дисертационния труд се разглеждат и решават проблеми свързани с математически методи за изследване, моделиране, анализ и прогнозиране в енергетиката и енергийните пазари. Разработваният в дисертационния труд проблем е безспорно актуален както в научно, така и в научно-приложно отношение.

2. Степен на познаване на състоянието на проблема и на литературния материал

Докторантката е представила състоянието и проблемите в разглежданата област. Направен е обзор на методи, модели и ключови индикатори за прогнозиране на цените на електроенергията, на базата на литературни източници публикувани през последните 15 години. В резултат са синтезирани основни изводи от литературния обзор и е формулирана целта на дисертационния труд, а именно „създаване на методика и алгоритми за изследване, анализ, моделиране и прогнозиране на цените на пазара на електроенергия “Ден напред“ част от организирания борсов пазар чрез използване методите за анализ на времеви серии от данни.“ За изпълнение на поставената цел са определени следните задачи:

1. Създаване на методика за изследване и анализ на данните за цените на електроенергията. Избор на подходящи методи, за анализ на реални продължителни (дългосрочни) данни, получени от енергийния пазар в България и региона в зависимост от условията.
2. Създаване на методика за изследване на данните за цените на електроенергията при анализ на реални краткосрочни данни на борсовите цени на електроенергията. Изследване на техники за подобряване на енергийното прогнозиране.
3. Изготвяне на демонстрационни софтуерни процедури за анализ, симулация и прогнозиране на цените на електроенергията чрез прилагане на избраните научни методи и модели за анализ.
4. Определяне на най-ефективните симулационни модели за прогнозиране, с които да могат да се правят бъдещи реалистични анализи за поведението на изследваните данни в зависимост от пазарните фундаменти.

3. Съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел и задачи на дисертационния труд

Избраната методика и възприетите подходи съответстват на нивото на съвременната теория и постижения. За постигане на поставената цел на дисертационния труд докторантката прилага ARIMA и SARIMA методи, модел на рекурентна невронна мрежа с дългосрочна-краткосрочна памет (LSTM), фрактален анализ на времевите редове за пресмятане на експонента на Хърст чрез Rescaled Range (R/S) метода и др.

4. Обща аналитична характеристика на дисертационния труд

Дисертационният труд е добре структуриран и логически последователен съгласно дефинираните задачи за решаване. Трудът е в обем от 183 страници и съдържа 4 глави, една обзорна глава и три глави с резултати от изследванията, заключение, приноси, списък на публикациите по дисертационния труд, забелязани цитирания и библиография. В 4 приложения са представени програмните кодове (Matlab и Python), използвани за получаване на резултатите по дисертационния труд.

Глава 1 е обзорна и представя състоянието на разглеждания проблем по литературни данни. Използвана е библиография наброяваща 139 източници, сред който основополагащи за областта публикации, както и актуални публикации, от последните 10 години.

Глава 2, Методи за изследване на дългосрочна устойчивост на времеви серии от данни на борсови цени на електроенергия, се отнася до изследвания върху устойчивостта в сложни системи за дългосрочни процеси на базата на различни методи: методи за изчисляване на експонентата на Хърст чрез R/S и флукуационен анализ с елиминиране на хода (detrended fluctuation analysis, DFA). В Глава 2, за пръв път, е представена методика за изследване и анализ на дългосрочната устойчивост на времевите серии от данни на борсови цени на електроенергия базирана на DFA. Резултатите от Глава 2 са представени в две публикации.

Глава 3, Методи за изследване на краткосрочна устойчивост на времеви серии от данни на борсови цени на електроенергия, се отнася до изследвания върху устойчивостта в сложни системи за краткосрочни процеси. Работено е с авторегресионен модел с интегрирана подвижна средна (ARIMA и seasonal-ARIMA (SARIMA)), както и с модел на рекурентна невронна мрежа с дългосрочна-краткосрочна памет (Long short-term memory networks, LSTM). В резултат е предложена методика за изследване, анализ и прогнозиране на цените на електроенергията. Методиката е базирана на SARIMA и LSTM методи, които дават оптимални прогнози за цените на пазара на електроенергия в зависимост от различните входни фактори. Резултатите от Глава 2 са представени в други две публикации.

Глава 4, Отчитане на данните и анализ на резултатите от емпиричното изследване, обобщава резултатите представени в Глави 2 и 3 и представя емпирични доказателства за ефективността на приложените методи за количествено определяне на устойчивостта за дългосрочни и краткосрочни процеси. Резултатите показват предимствата на DFA при дългосрочни прогнози и на SARIMA моделът – за краткосрочни прогнози.

В Глава 5 докторантката обобщава работата по дисертационния труд и извежда съществените изводи от получените резултати. Формулирани са и възможни насоки за бъдещи изследвания в областта.

5. Оценка на приноси на дисертационния труд и тяхната значимост

Приемам формулираните в дисертационния труд приноси, както следва:

Научно-приложни приноси

1. Създадена е методика за изследване, анализ и прогнозиране на цените на електроенергията, базирана на ARIMA, SARIMA и LSTM методи, които дават оптимални прогнози за цените на пазара на електроенергия в зависимост от различните входни фактори.
2. Създадена е методика 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.
3. Експериментално е изследвано 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.
4. Експериментално е доказано, че DFA метода 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.
5. При анализа на краткотрайни данни е доказано преимуществото на прогнозирането с помощта на SARIMA метода (в сравнение с ARIMA метода), тъй като променливия характер на цените на електроенергията показват сезонност.

Приложни приноси

1. Програмно реализирани и анализирани са 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.
2. Програмно реализирани и анализирани са алгоритми за анализ и прогнозиране на краткосрочни данни за цените на електроенергията на базата на прилагане на методите ARIMA, SARIMA и LSTM.
3. Създадени са демонстрационни процедури за анализ и прогнозиране на цените на енергетиката в зависимост от вида на зададени входни параметри.

6. Оценка на степента на личното участие на докторанта в приносите

В 4 от публикациите по дисертационния труд маг. инж. Екатерина Поповска-Славова е първи автор, което ми дава основание да приема, че изследванията и формулираните приноси от тях са лично дело на докторантката.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

По дисертационния труд са посочени 6 публикации. Две от тях са в ACM International Conference Proceeding Series, който се реферира в Scopus и има импакт ранг (SJR). Както вече споменах, в четири от публикациите докторантката е първи автор, което свидетелства за нейното лично и отговорно участие. Представени са и 7 цитирания на 3 от публикациите, което показва както високото научно ниво, така и актуалността на публикуваните резултати.

8. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд

Авторефератът правилно отразява съдържанието на дисертационния труд и дава представа за разглежданите проблеми, получените резултати, както и за приносите на дисертационния труд.

9. Критични бележки по дисертационния труд

Бих искала да отбележа, че поставените критични бележки, коментари и препоръки на по-ранен етап, бяха взети под внимание от докторантката и отразени в дисертационния труд.

Към окончателния дисертационен труд имам следните коментари:

1. Някой от фигураните са с лошо качество, особено *Фигура 3.2. Илюстрация на LSTM архитектура*, където е трудно да се прочете текста на подфигурите.
2. В т. 4.6. Изводи от направените изследвания на Глава 4 при формулирането на 7-те извода явно е допусната техническа грешка. Записано е:

Извод 3: *DFA се оказва по-подходящ метод от R/S анализа за прогнозиране на цените на електроенергията, особено за данни с краткосрочни зависимости и флуктуации.*

Извод 6: *SARIMA моделът се предпочита за дългосрочни и сезонни времеви редове.*

Според мен при Извод 3 трябва да е „*дългосрочни зависимости*“, а при Извод 6 – „*краткосрочни и сезонни*“.

3. Декларация за оригиналност на резултати е неразделна част от дисертационния труд, а не отделен документ.

10. Заключение с ясна положителна или отрицателна оценка на дисертационния труд

На основание на гореизложеното давам висока оценка на научната и научно-приложната работа на маг. инж. Екатерина Поповска-Славова.

Изпълнени са всички изисквания, условия и критерии на Закона за развитие на академичния състав в Република България (ЗРАСРБ), Правилника за прилагане на ЗРАСРБ и Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и за заемане на академични длъжности в ИР – БАН и давам положителна оценка за дисертационния труд и предлагам на Научното жури да присъди образователната и научна степен „доктор” на маг. инж. Екатерина Поповска-Славова в област на висше образование: 5. Технически науки, професионално направление: 5.2 Електротехника, електроника и автоматика, научна специалност: 02.21.10 Приложение на принципите и методите на кибернетиката в различни области на науката.

26.01.2024 г.

Член на Научното жури:

София

/проф. д-р О. Роева/