

## РЕЦЕНЗИЯ

от проф. д-р Златинка Светославова Ковачева, ИМИ-БАН,  
член на научно жури във връзка с процедурата за защита  
на **дисертационен труд** на тема:

**„Изследване динамичното поведение на нелинейни клетъчни мрежи,  
решаващи уравнения на математическата физика“**

Автор: **Зоя Владимировна Кичева – Зафирова**

за придобиване на образователна и научна степен **„доктор“** в област на  
висше образование: 4. Природни науки, математика и информатика,  
Професионално направление: 4.5. Математика, Докторска програма  
„Математическо моделиране и приложение на математиката“

Настоящата рецензия е изготвена на основание на Заповед № 312 от 21.10.2021 г. на Директора на Института по математика и информатика - БАН, проф. д-р Петър Бойваленков, издадена на основание на решение на НС на ИМИ (Протокол № 17 от 15.10.2021 г.) и решенията на първото онлайн заседание от 25.10.2021 г. на Научното жури, определено с гореспоменатата заповед. Тя е съобразена с:

- ПРАВИЛНИК за условията и реда за придобиване на научни степени и за заемане на академични длъжности в Института по математика и информатика на БАН;
- УКАЗАНИЯ за изготвянето на документацията в електронен вид за кандидатстване, за написването на рецензии и становища по конкурси за заемането на академичните длъжности „доцент“ и „професор“ и за написването на рецензии и становища за дисертации за придобиване на образователната и научна степен „доктор“ и научната степен „доктор на науките“ в Института по математика и информатика на БАН.

### 1. Биографични данни

Зоя Кичева – Зафирова е завършила висше образование по специалност „Математика“ в СУ „Св. Кл. Охридски“ и по специалност „Икономика – социално икономическа информация“ във ВИИ „Карл Маркс“, София. Има богат педагогически опит като учител, старши учител и асистент по „Висша математика“ в Технически Университет, София. Има и практически опит в приложението на информационни технологии за обработка на икономическа и счетоводна информация. Членува в Съюза на учените в България.

Дисертантката е зачислена на задочна докторантура със Заповед № 573 от 18.07.2017 г. на Директора на Института по математика и информатика – БАН, акад. В. Дренски, издадена на основание на решение на Научния съвет на ИМИ (Протокол № 10 от 17.07.2017 г.).

Зоя Кичева – Зафирова е положила необходимите изпити от докторантската програма както следва:

- 01.02.2018 г. „Английски език“: Отличен 5.50
- 30.03.2018 г. „МАТЛАБ“: Отличен 6
- 20.04. 2018 г. „Анализ на данни с R езика“: Отличен 6
- 25.07.2018 г. „Базов докторантски изпит“: Отличен 5.50
- 26.06.2019 г. „Специализиран докторантски изпит“: Писмен изпит: Много добър 5, Устен изпит: Отличен 5.50

Дисертантката е отчислена от задочна докторантура с право на защита със Заповед № 617 от 30.06.2021 г. на Директора на Института по математика и информатика - БАН, проф. дмн П. Бойваленков, издадена на основание на решение на НС на ИМИ (Протокол № 12 от 25.06.2021 г.) поради изтичане на срока на докторантурата.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на заседание на разширено звено за предзащита на дисертационен труд „Изследване динамичното поведение на нелинейни клетъчни мрежи, решаващи уравнения на математическата физика“ на Зоя Владимировна Кичева – Зафирова, задочен докторант към секция „Диференциални уравнения и математическа физика“ на ИМИ-БАН за придобиване на образователна и научна степен „доктор“, проведено на 30.09.2021 г.

## **2. Актуалност на дисертационния труд**

През последните три десетилетия невронните мрежи са обект на интензивни научни изследвания поради успешното им приложение за решаване на множество практически задачи за оптимизиране на процеси, за разпознаване на образи, за предсказване на бъдещо развитие и много други. Клетъчните невронни мрежи са въведени от Leon Chua и Lin Yang през 80-те години на миналия век и оттогава те се изучават бурно поради потенциала им за приложение в обработката на сигнали, разпознаването на образи, химически процеси, ядрени реактори, биологически системи, асоциативни паметни и т.н.

От математическа гледна точка, клетъчната невронна мрежа може да се разглежда като масив от нелинейни динамични системи, които са локално свързани. Структурата на клетъчната невронна мрежа е подобна на клетъчен автомат, тъй като всяка клетка е свързана само със съседните си клетки и съседните клетки комуникират директно помежду си.

Математически, динамичното поведение на клетъчните невронни мрежи се изразява чрез системи обикновени диференциални уравнения.

### **3. Степен на познаване състоянието на проблема и обща характеристика на труда**

От направения литературен обзор, както и от получените резултати е видно, че докторантката познава детайлно изследваната проблематика. Представена е и програмна симулация чрез средствата на MATLAB.

Дисертацията е написана на български език, на 134 стандартни печатни страници и съдържа 36 фигури. Тя се състои от заглавна страница, благодарности, съдържание, списък на фигурите, използвани съкращения, увод, шест глави, приложение и библиография, съдържаща 111 заглавия. Представен е списък от 6 публикации по дисертацията и списъци на научни и научно-приложни приноси. Две от публикациите по дисертацията са цитирани в една публикация.

Уводът съдържа кратък обзор на клетъчните невронни мрежи (КНМ, CNN) и представя накратко съдържанието на дисертацията.

Глава 1 е посветена на нелинейните клетъчни невронни мрежи (НКНМ). Представен е математическия модел на КНМ, както и основните типове уравнения, описващи динамиката на двуразмерна клетъчна невронна мрежа. Методът на функцията на Ляпунов е приложен за изследване на КНМ, състояща се от две клетки. Методът на хармоничния баланс е приложен за изследване на динамиката на НКНМ. Доказан е факта, че всяка нелинейна динамична система може да се изследва с метода на хармоничния баланс. Показано е, че КНМ има в пространството на състоянията си области с различни траектории. Изведени са необходими условия за съществуване на незатихващи осцилации.

Глава 2 представя изследване на динамиката на НКНМ на реакция-дифузия. Построен е модел на НКНМ на реакция-дифузия. Конструирани са темплети в едномерния и двумерния случай. Посредством метода на хармоничния баланс е изследвана динамиката на мрежата. Подробно е представено изследване на интегро - диференциалното уравнение на Фиц Хю Нагумо, което е математически модел за разпространение на нервен импулс по аксона. Анализирани са динамиката му.

В Глава 3 са изследвани някои модели на уравнения на математическата физика. Изследвани са солитонните решения на уравненията на син- Гордън, наречени флуксони. Посредством MATLAB е представена симулация чрез КНМ на взаимодействие на флуксони. Изучени са синус уравнения на Гордон с много синуси в дясната страна. Показана е връзката между Джозефсоновия контакт (JJ) и флуксоните, както и връзката

между JJ и КНМ. Моделирано е вискоеластичното уравнение на Бюргер и е изследвана неговата динамика. Изучени са вълновите профили на решенията му от тип бягаща вълна.

В Глава 4 е изследвана динамиката на НКНМ с хистетрезис. Представена е клетъчна невронна мрежа с хистерезис в системата за обратна връзка. Изследвана е динамиката на хистерезисни НКНМ чрез използване на мемристори. Приложен е метода на хармоничния баланс за намиране на периодични решения на хистерезисни НКНМ. Получени са строги математически неравенства за определяне на областта на хаоса б. Предложена е конструктивна процедура, която е приложима за произволна система, чиито клетки са свързани и описани чрез детерминистични математически модели.

В глава 5 е изследвана пространствено нееднородна динамична система чрез модела на Мейнхардт- Гиерер. Изведени са условия за устойчивост на модела на Мейнхардт- Гиерер. Изведени са условията, при които се получава Тюрингова неустойчивост. Изведени са условията, при които се получава вълнова неустойчивост. Посредством метода на хармоничния баланс са получени аналитични резултати за КНМ модела на Мейнхардт- Гиерер.

#### **4. Приноси на дисертационния труд**

Приносите в дисертационния труд са представени в Глава 6. Те могат да се разделят на научни и научно-приложни:

##### 3.1. Научни приноси:

- Доказано е, че всяко нелинейно диференциално уравнение може да се изследва чрез метода на хармоничния баланс;
- Изведено е уравнението на хармоничния баланс за нелинейни системи;
- Представен е КНМ алгоритъм за изследване на уравнения на реакция - дифузия;
- Дефинирани са флуксони от математическа гледна точка;
- Моделирано е взаимодействието флуксон - антифлуксон с КНМ.

##### 3.2. Научно - приложни приноси:

- Представени са приложения на КНМ в биологията, физиката, механиката, свръхпроводящите нанотехнологии;
- Изследвани са решения от тип пътуваща вълна на КНМ;
- Изследвано е явлението хистерезис в КМН с мемристорни синапси;
- Получени са строги математически неравенства за определяне на областта, наречена „ръб на хаоса“;

- Изследвана е системата на Мейнхард – Гиерер, като са изведени условията при които се получават Тюрингова и вълнова неустойчивост.

Избраната методика на изследванията, както и използваните техники при доказателствата на теоремите съответстват на поставените цели и задачи.

Личното участие на докторантката в приносите и задълбоченото ѝ познаване на проблематиката проличават от представената публикационна дейност, от декларацията за оригиналност, както и от презентацията и последвалите обсъждания на предзащитата.

## **5. Публикации и цитати по дисертационния труд**

Резултатите от направените изследвания са докладвани на авторитетни международни научни форуми: NTADES 2018, NTADES 2019, AMEE 2018, AMEE 2019, ISCAS 2019, Втори интердисциплинарен докторантски форум 150 години БАН и са публикувани както следва:

- 3 статии са публикувани в AIP Conference Proceedings, които се индексират в Scopus и имат SJR;
- 2 статии са публикувани в издания на IEEE;
- 1 статия е публикувана от Pliska Studia Mathematica Bulgarica.

Две от публикациите по дисертацията са цитирани в една публикация.

## **6. Автореферат**

Представеният автореферат отразява правилно и достатъчно подробно съдържанието на дисертационния труд и съответства на изискванията на ЗРАСРБ и ППЗРАСРБ. Авторефератът е написан на 55 печатни страници и дава ясна представа за изследваните проблеми, получените резултати и приносите на дисертантката.

Като малък недостатък на дисертацията и автореферата ще отбележа забелязани правописни грешки и неточности при превода от английски език.

## **7. Лични впечатления от дисертантката**

Имам положителни впечатления от представянето на дисертантката на предзащитата на дисертационния труд.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Считам, че представеният дисертационен труд отговаря на съвкупността от критерии и показатели за придобиване на образователната и научна степен „доктор“ съгласно ЗРАСРБ, Правилника за неговото приложение и Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в ИМИ-БАН. Извършена е значителна по обем и съдържание изследователска работа. Има достатъчен брой научни и научно-приложни приноси. Представени са достатъчен брой публикации, докладвани на престижни научни форуми. Покрит е образователният докторантски минимум, заложен в индивидуалния план. Това ми дава основание убедително да препоръчам на Научното жури да предложи на почитаемия Научен съвет да присъди на докторантката **Зоя Владимирова Кичева – Зафирова** образователната и научна степен „доктор“ в област на висше образование: 4. Природни науки, математика и информатика, Професионално направление: 4.5. Математика.

15 ноември 2021 г.

Рецензент:

София

(проф. д-р Златинка Ковачева)