

# Научни приноси на проф. дн инж. Анжела Славова Попиванова

## 1. Научни и научно-приложни приноси

1.1. Основният научен принос е в областта на невронните мрежи. В тази област изследването на клетъчно невронни мрежи е много актуална тематика. Главната идея е да се използва решетка от нелинейни динамични електрически вериги, взаимосвързани помежду си, с цел да се проведе сравнителни голямо количество информация в реално време. Концепцията за тази нова архитектура е взимствана от архитектурата на клетъчните автомати и на невронните мрежи, като по този начин се показва нова възможност за ефективно решаване на доста бавни във времето задачи, например за разпознаване и обработка на образи. По тази тематика е монографията Slavova, A., Cellular Neural Networks: Dynamics and Modeling, Kluwer Academic Publisher, 2003. Проф. Попиванова е въвела нов клас от клетъчно невронни мрежи – с хистерезис, които са с много актуални приложения в разпознаването и обработката на образи. Разработен и приложен е нов подход в изучаването на такива мрежи, а именно метода на хармоничния баланс.

Проф. Попиванова е въвела нов елемент към хистерезисните клетъчно невронни мрежи - мемристор. Мемристорните клетъчно невронни мрежи се развиват интензивно през последните 5 години и тематиката е изключително актуална. Изследванията се основават на метода на локалната активност, като е разработен уникален алгоритъм за прилагането му в изследванията на динамиката на такива мрежи. По-конкретно този алгоритъм позволява да се намери областта, наречена рѳб на хаоса, в която мрежата проявява сложно поведение и това води до възникването на нови структури. Приложенията са в много области на науката като биологията за предсказване на епилептични пристѳпи, в разпознаване на образите и тяхното кодиране и декодиране, в нано структури и др. Прилагането на биологични характеристики на човешкия мозѳк в електрониката е особено сложно. Най-обещаващата перспектива е възможността за реализиране на синаптични устройства, директно интегрирани със CMOS неврони. Тези синаптични устройства са реализирани с широк спектѳр от материали и технологии. В тази връзка са разработени модели на клетъчно невронни мрежи, които се използват в разпознаването на

ЕЕГ сигнали с цел предсказване на епилептични припадъци. Целта е да се открият различни промени преди началото на пристъпа, които евентуално разкриват състояние преди припадък. По този начин е възможно да се разкрие преход в динамиката на мозъка от предполагаемо между пристъпно към предиктално състояние. Чрез базираният на клетъчно невронни мрежи модел е възможно да се реализира автономно устройство за предупреждение за припадъци, използващо хардуер платформа за внедряване. В момента се разработват специални чипове, които да се поставят на пациенти с цел навременното откриване на епилептични припадъци. По тази тематика е и книгата Chua L., Tetzlaff R., Slavova, A., Memristor Computing Systems, Springer, 2022.

1.2. Научно-приложен принос е в моделирането на вълни цунами с клетъчно невронни мрежи. Проучването на разпространението на такива вълни от малкото им смущение на морското равнище до размера, който достигат при приближаване до брега, интересува много учени. Ясно е, че за да се предвиди точно появата на цунами, е от основно значение да се изгради добър модел. Основната цел на модела е да се изследва как една вълна, веднъж иницирирана, се движи, развива и в крайна сметка се превръща в такава разрушителна сила на природата. При моделирането е необходимо да се осигури добро приближение на вълните цунами от решенията на съответното уравнение на модела. В първоначалните физически променливи това означава, че до близкия бряг профилът на вълната остава непроменен, разпространявайки се с постоянна скорост. Линеиният модел се разпада, когато вълните цунами навлизат в по-плитките води на крайбрежните райони. Следователно, подходящите уравнения са тези, които моделират разпространението на вълната в плитки води на променлива дълбочина. В този регион по-бързите вълнови фронтове могат да настигнат по-бавните и това може да доведе до натрупване на вълнови фронтове с голяма амплитуда зад по-малките.

Дори с помощта на най-модерните компютри не е възможно да се намерят точните решения на нелинейните уравнения описващи вълни цунами. За тази цел Проф. Попиванова въвежда подхода на клетъчната нелинейна мрежа (КНМ). Количественото определяне на динамиката на вълните цунами при тяхното въздействие върху крайбрежните зони е задача от изключително значение. Построени са различни математически модели на вълни цунами, като Кортевег де Фриз, уравнения за плитка вода, уравнението на Камас-Холм,

вълни с нелинейна завихреност, двукомпонентна система на Камаса-Холм и др. За да се проучи динамиката на построените модели, се използва подхода на КНМ, за да се дискретизира управляващото уравнение върху подходяща мрежа. По тази тематика е монографията: Slavova A., P. Zecca. *Modeling Natural Phenomena via Cellular Nonlinear Networks*. Cambridge Scholars Publishing, 2018.

1.3. В монографията Popivanov, P., Slavova, A., *Nonlinear Waves. Geometrical Approach*, World Scientific, Singapore, 2019 са изучени много уравнения на математическата физика като нелинейното вълново уравнение, уравненията на Кортвег-де-Фриз, Форнберг-Уидам, Вакхненко, Бени-Люк, Кадомцев-Петвиашвили, Цицейка, Камаса-Холм, нелинейното уравнение на Шрьодингер, нелинейното уравнение на Кауп-Купершмит, Бусинеск, Кузнецов-Захаров, Суифт-Хохенберг, които имат приложения в лазерната оптика, динамика на флуидите, рогови вълни в океаните, и др. Решенията, които се търсят могат да бъдат различни по тяхната структура, като например различни полиномиални смущения на някои линейни частни диференциални уравнения – уравнението на Шрьодингер, и могат да бъдат глобални във времето, избухващи решения за крайно време, решения с различно поведение на безкрайност и др. Затова и апарата, който се използва в монографията е много разнообразен, като например разпределения на Шварц, трансформации на Фурие в различни функционални пространства, специални функции на Бесел, елиптични функции на Якоби, елиптични интеграли на Лежандър от I, II и трети вид.

За да се намерят решения от типа бягаща вълна и да се начертаят техните графики, както и да се намерят подходящи решения със специално физическо значение в лазерната оптика, динамика на флуидите или рогови вълни в океаните, се използват методи от обикновените и частни диференциални уравнения. Получени са решенията на редица уравнения на математическата физика в експлицитна форма с помощта на специални функции.

Конструират се различни несолитонни решения. Новото е, че всички тези решения са в явен вид и се построяват чрез специални елиптични функции на Лежандър, Якоби, Вайерщрас и др. В литературата са построявани решения на такива задачи чрез добре изучените и сложни методи на обратно разсейване, които се получават чрез елементарни функции – експоненти, логаритми и тригонометрични функции. Във въведения случай прилагайки по-елементарни

методи се получават несолитонни решения в явен вид. Предлага се и геометрична интерпретация на получените решения. За нелинейното еволюционно уравнение на Шрьодингер се получават различни конфигурации. Компютърните симулации са получени с помощта на клетъчни нелинейни мрежи.

1.4. Съществен научно-приложен принос е изучаването на някои модели, възникващи в неврологията. Типовете уравнения на нелинейната реакция-дифузия се използват широко за описание на явления в различни области, като модела на биологията на Фишър, модела на Ходжкин-Хъксли и неговото опростяване – модела на нервната проводимост на ФицХю Нагумо и др. Известният неврон на Ходжкин-Хъксли е първият математически модел, описващ предаването на невронно възбуждане, извлечен от гледна точка на физиката и поставя основата на електрическата неврофизиология. Уравнението на ФицХю-Нагумо, което е опростяване на модела на Ходжкин-Хъксли, описва генерирането и разпространението на нервния импулс по протежение на аксоните. Системите на ФицХю-Нагумо са от основно значение за разбирането на качествената природа на разпространението на нервните импулси. Изследвана е свързана невронна система на ФицХю Нагумо и феномена "ръба на хаоса". Показано е, че разликата в поведението се дължи на различни бифуркационни механизми на възбудимост. За динамичните системи в неврологията типът на бифуркацията определя изчислителните свойства на невроните. Въз основа на крайната скорост на разпространение при предаването на сигнала между невроните, са представени различни невронни системи на FitzHugh Nagumo и е изследвана тяхната динамика чрез подхода на КНМ. По тази тематика е втората част на монографията Slavova A., P. Zecca. *Modeling Natural Phenomena via Cellular Nonlinear Networks*. Cambridge Scholars Publishing, 2018.

## Международна признание

Проф. Попиванова има широко международно сътрудничество и признание. С Университета във Флоренция, Италия и по-специално с проф. Пиетро Дзека има 30 годишно сътрудничество. Многократно е изнасяла доклади по покана в този университет. Има 2 договора по научната програма на НАТО - NATO Grant ICS.NR.CLG 981757 (2005-2007) with University of Florence, Italy: “Topological methods for Differential Equations and Computer Simulations via Cellular Neural Networks”- ръководител от Българска страна и NATO Grant ICS.NR.CLG 983716 (2009-2011) with University of Florence, Italy: “Topological Methods and New Wave Phenomena for Environmental Security via Cellular Neural Networks”- ръководител от Българска страна. От 2008 година проф. Попиванова има проект по Еразъм със същия университет. В резултат на дългогодишното сътрудничество през 2018 г. излиза и монографията Slavova A., P. Zecca. Modeling Natural Phenomena via Cellular Nonlinear Networks. Cambridge Scholars Publishing.

С Техническия Университет в Дрезден, Германия, Проф. Попиванова има 20 годишно сътрудничество. С групата по електроинженерство и нанотехнологии на проф. Тетцлафф работи главно в областта на КНМ, а в последните 5 години и в областта на мемристорни КНМ. На тази тематика е посветена книгата Chua L., Tetzlaff R., Slavova A., Memristor Computing Systems, Springer, 2022. Тя е ръководител от българска страна на 3 ДФГ договора: . DFG Joint Grant with Technical University of Dresden “Image coding and cellular automata” 2009-2011, DFG project TE 257/19-1, (2013-2014), “Pattern generation and optimization based on Reaction-Diffusion Cellular Nonlinear Networks,“, DFG Joint Project ECOM, 2018-2022. Проф. Попиванова е изнасяла многократно доклади по покана в Техническия Университет в Дрезден, за което е получила наградите Senior Professorship и Eleonore Trefftz Women Professorship през 2016 и 2019 г. съответно. Има двама успешно защитили докторанти съвместно с проф. Тетцлафф- доктор Vanessa Senger, Technical University of Dresden, Germany, 2021, доктор Tang Tang, Technical University of Dresden, Germany, 2014.

Проф. Попиванова има 25 годишно сътрудничество с Университетите Бен Гурион в Бер Шева и в Ариел в Израел с проф. Елена Литсин. Изнасяла е многократно доклади по покана в тези университети. Има 3 договора по ЕБР, съответно: Bilateral Project with Ariel University, Israel (2000-2010) –

ръководител от Българска страна, Bilateral Project with University of Beer-Sheva, Israel (2011 – 2018): “Qualitative theory of Differential Equations and Applications in Cellular Neural Networks” - ръководител от Българска страна, Bilateral Project with Ariel University, Israel (2022 – 2025): “Integro-differential models and applications in nanotechnology” – ръководител от Българска страна. Има много съвместни публикации с проф. Елена Литсин.

Спечелила е 2 пъти стипендията Фулбрайт – през 1993 г. за една година във Флоридския Университет по Технологии и през 2023 г. за 5 месеца в Тексаския А М университет в САЩ.

### **Принос за развитието на науката в България**

Проф. Попиванова е създавала школа по Клетъчно невронни мрежи (КНМ) в България. Има 4 защитили докторанти по клетъчно невронни мрежи в България – гл. ас. Мая Маркова, гл. ас. Виктория Рашкова – Русенски Университет „Ангел Кънчев“, Галина Бобева – Директор на Математическа гимназия, Русе и гл. ас. Зоя Зафирова – Технически Университет София.

За монографията Popivanov, P., Slavova, A., Nonlinear waves. Introduction. World Scientific, Singapore, 2011 е получила наградата на Съюза на учените в България (СУБ) за високи научни постижения през 2012 г.

За монографията Slavova A., P. Zecca. Modeling Natural Phenomena via Cellular Nonlinear Networks. Cambridge Scholars Publishing, 2018, Проф. Попиванова получава наградата на СУБ за високи научни постижения през 2019 г.

От 2014 г. Проф. Попиванова организира международна конференция „Нови насоки в приложенията на диференциалните уравнения в науките“ ([www.ntades.eu](http://www.ntades.eu)), която се провежда всяка година и в нея участват световно известни учени работещи в областта на приложенията на диференциалните уравнения. Конференцията има изцяло приложен характер в следните приоритетни области: Информационни и комуникационни технологии, Нови материали и нанотехнологии, Медицина и здравеопазване, Финанси. Трудовете на конференцията се публикуват в престижни международни издания на American Institute of Physics и Springer Proceedings.

За пръв път Проф. Попиванова организира Европейска конференция IEEE European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD 2020), която се провежда на всеки 2 години – Германия, Швеция, Норвегия, Полша, Турция, Италия и др.

През 2018 г. Проф. Попиванова организира заедно с Акад. Сгурев и Акад. Хаджийски IEEE уъркшоп Advances in Neural Networks and Applications (ANNA 2018) в Св. Константин и Елена, на който изнесоха доклади световно известни учени по невронни мрежи.

Проф. дн инж. Анжела Славова Попиванова