



## РЕЦЕНЗИЯ

### върху дисертационен труд за придобиване на научна степен „доктор на науките“

**Автор на дисертационния труд:**

Доц. д-р инж. Галя Николова Георгиева-Цанева

**Тема на дисертационния труд:**

Хибридни подходи за изграждане на дигитален близък на вариабилността на сърдечната честота

**Научна област:**

5. Технически науки

**Професионално направление:**

5.2 Електротехника, електроника и автоматика

**Научна специалност:**

02.21.02 Елементи и устройства на автоматиката и изчислителната техника

**Рецензент:**

Проф. д-р Николай Стоименов, Институт по информационни и комуникационни технологии към Българска академия на науките

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

Дисертационният труд е посветен на интегрирана методологична рамка за обработка, анализ, симулация и защита на кардиологични сигнали, поставяйки вариабилността на сърдечната честота в основата на изграждането на дигитален HRV близък за интелигентни IoT-базирани биомедицински системи. Кардиологичните сигнали (ECG, PPG и HRV) са ключов инструмент в съвременната биомедицина и цифровото здравеопазване, тъй като предоставят информация за състоянието на сърдечно-съдовата система, нивата на стрес, умора и риска от заболявания. Развитието на носими устройства води до генериране на големи количества данни в реални условия, което изисква надеждни методи за обработка и анализ на сигнали, с цел премахване на шум, движения и смущения. Традиционните методи се оказват недостатъчни за

описване на сложната динамика на сърдечната регулация, поради което се налага използването на нелинейни подходи, включително фрактален, ентропиен и хаотичен анализ. Важна роля има и симулационното моделиране на физиологично достоверни кардиологични сигнали, което подпомага валидирането на алгоритми, обучението на модели с изкуствен интелект и изследването на трудно наблюдаеми физиологични състояния. Актуалността идва и от необходимост от разработване на хибридни модели, които комбинират детерминистични, стохастични и хаотични компоненти за по-пълно възпроизвеждане на физиологичната динамика. В този контекст концепцията за HRV Digital Twin се утвърждава като перспективно направление, представляващо персонализиран цифров модел, който интегрира реални кардиологични данни, математическо моделиране и интелигентен анализ за непрекъснат мониторинг и прогнозиране на физиологични състояния. Допълнително предизвикателство е защитата на чувствителните биомедицински данни в IoT и телемедицината, като се гарантират тяхната поверителност, цялост и автентичност.

## **2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал**

Авторът е извършил комплексно проучване на съвременните изследвания и практически решения в областта на обработката, анализа и моделирането на кардиологични сигнали (ECG, PPG и HRV). Очертават се като предизвикателства филтрацията на шумове в ECG и PPG, особено при преносими устройства.

Дисертантът демонстрира задълбочено познаване на състоянието на проблема чрез обстоен и критичен анализ на съвременните научни публикации, свързани с обработката, анализа, моделирането и защитата на кардиологични сигнали. Литературният обзор обхваща широк спектър от класически и съвременни подходи, включително линейни и нелинейни методи, уейвлет анализ, техники за модално разлагане, методи на изкуствения интелект и дълбокото обучение.

Особено ценен е критичният прочит на научните резултати, чрез който са идентифицирани съществуващите ограничения на наличните решения – недостатъчна устойчивост към шум и артефакти, липса на интегрирани симулационни модели, ограничения при внедряване в IoT среди и недостатъчна защита на чувствителните биомедицински данни. На тази основа авторът формулира ясно научния дефицит и аргументира необходимостта от разработването на нова интегрирана методологична рамка.

Творческата интерпретация на литературния материал се изразява в обединяването на резултати от различни научни направления – обработка на сигнали, моделиране, изкуствен интелект, информационна сигурност и IoT технологии – в единна концепция за изграждане на дигитален HRV близък. Това показва способност за критичен анализ, синтез на знания и формулиране на оригинални научноизследователски решения.

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

Избраната методика на изследване е напълно съобразена с поставената цел и дефинираните задачи на дисертационния труд. Тя обединява теоретични, експериментални и приложни подходи, като съчетава класически математически методи с модерни ИИ-базирани техники за обработка, анализ, моделиране и защита на кардиологични сигнали.

Методологичната рамка е логически структурирана и последователно следва поставените научноизследователски задачи – от намаляване на шумовете и надеждна детекция на характерни събития в ECG и PPG сигналите, през разработване на физиологично достоверни симулационни модели и механизми за защита на данните, до анализ на HRV показатели и изграждане на дигитален близък на вариабилността на сърдечната честота. Използваните методи и алгоритми позволяват постигането на надеждни резултати както в контролирани, така и в реални условия на работа в IoT и носими системи.

Следва да се отбележи, че методиката има комплексен и интердисциплинарен характер, което съответства на сложността на изследваната проблематика. Тя създава необходимите предпоставки за реализиране на основната цел на дисертационния труд и за получаване на научнообосновани и практически приложими резултати.

### **4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд**

Дисертационният труд е разработен в обем от 250 стр., включващ 116 фигури, 69 таблици, 235 цитирани източника, от които 28 стр. са анализ на съвременното научно ниво в разглежданата област. Дисертацията е представена в пет глави, увод, заключение, научни и научно-приложни и приложни приноси. Тя съдържа списък на използваните абривиатури и списък на основните означения на най-често използваните символи в уравненията и в текста. В глава 1 литературният обзор демонстрира задълбочено познаване на съвременните

методи за обработка, анализ, моделиране и защита на кардиологични сигнали. Анализирани са както класически, така и съвременни ИИ-базирани подходи, като са идентифицирани техните предимства и ограничения при работа в реални IoT и мобилни среди. В глава 2 разработените методи са валидирани върху реални и синтетични PPG сигнали, като са използвани утвърдени количествени показатели за оценка на качеството на обработката и точността на детекцията. Проведените експерименти демонстрират възпроизводимост и устойчивост на резултатите при различни нива на шум и артефакти. Това дава основание да се приеме, че получените научни резултати са достоверни и приложими в реални условия. В глава 3 са разработени симулационни модели, които възпроизвеждат статистическите, спектралните и динамичните характеристики на реални ECG, PPG и HRV сигнали. Предложени са оригинални хибридни модели, комбиниращи гаусови, фрактални, стохастични и ИИ-базирани подходи, които осигуряват висока физиологична достоверност и контролируемост на симулираните данни. Резултатите показват приложимостта на моделите за валидиране на алгоритми, обучение на ИИ системи и провеждане на персонализирани симулации. Създадена е солидна симулационна основа за бъдещо изграждане на дигитален близък на вариабилността на сърдечната честота. Глава 4 съдържа предложени методи за защита чрез утвърдени криптографски и сигнални метрики, което позволява обективна оценка на тяхната ефективност. Експерименталните резултати показват запазване на диагностичната стойност на сигналите при едновременно осигуряване на висока степен на сигурност. Това потвърждава надеждността на използвания експериментален материал и практическата приложимост на разработените решения. В глава 5 е предложена цялостна методологична рамка за изграждане на HRV Digital Twin, която интегрира обработка на сигнали, интелигентен анализ, симулационно моделиране и прогнозиране на физиологични състояния. Разработени са нови интегрални индекси (FDTI, RDTI и PDTI), позволяващи надеждна оценка на умора, възстановяване и дългосрочна адаптация при спортисти. Резултатите показват висока чувствителност при разграничаване на физиологични състояния и потенциал за ранно откриване на риск и автономна дисрегулация.

## **5. Научно-приложни и приложни приноси на дисертационния труд**

Приносите в дисертацията са класифицирани както следва:

### **НАУЧНИ**

1. Формулирана е концепция за HRV Digital Twin като персонализируема и динамична рамка за моделиране, интерпретация и прогноза на автономната сърдечна регулация.

2. Предложени са оригинални методи за анализ и детекция в PPG/ECG сигнали, включително хибриден AI подход, интегриращ уейвлет представяне, CNN-LSTM архитектура и механизъм за времево внимание за детекция на P-пикове в PPG сигнали.

3. Разработени са нови симулационни модели за HRV, PPG и ECG сигнали, включително хибридни и фрактално ориентирани решения, сред които моделът GMF-Rössler, комбиниращ морфологично описание и хаотична динамика.

4. Формулиран е регионално-адаптивен принцип за защита на кардиологични данни, при който криптографската защита и защитата чрез водно маркиране се адаптират към диагностичната значимост на различните сегменти на сигнала.

### **НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ**

1. Разработени са методи за адаптивно шумопотискане, надеждна детекция и извличане на интервали от PPG и ECG сигнали, валидирани в реално време и енергийно ограничени условия.

2. Създадени са три интегрални HRV индекса — FDTI, RDTI и PDTI — за оценка на умора, краткосрочно възстановяване и дългосрочна адаптация, апробирани върху данни от спортисти при различни тренировъчни режими.

3. Разработени са методи и архитектури за сигурна обработка на кардиологични данни, включително хибридна криптография, водно маркиране и механизми за проследимост и автентичност, както и многоиндексен метод за автоматично сигнализиране на физиологичен риск в реално време.

### **ПРИЛОЖНИ**

1. Аргументирана е приложимостта на PPG-базирани интервални серии като практическа алтернатива на ECG при дистанционен мониторинг и носими системи.

2. Показван е потенциалът на разработените методи за приложение в телемедицина, спортна наука, персонализиран мониторинг и IoT-базирани системи, като е очертана архитектурна основа за бъдещо развитие на концепцията за HRV Digital Twin.

С оглед на гореизложеното, считам, че получените представени и систематизирани резултати представляват безспорен принос в областта на биомедицинското инженерство, цифровото здравеопазване, обработката на биомедицински сигнали и приложението на методи на изкуствения интелект за анализ и моделиране на кардиологични данни. Те са насочени към развитието на интелигентни системи за мониторинг, прогнозиране и защита на физиологични данни, като същевременно създават методологична основа за изграждане на дигитален близък на вариабилността на сърдечната честота в IoT и телемедицината.

#### **6. Оценка на степента на лично участие на дисертанта в приносите**

Запознат съм с научната дейност на доц. д-р инж. Галя Николова Георгиева-Цанева. От представените 25 научни публикации, 14 от тях са в издания с IF и/или SJR (6 с Q1, 2 с Q2, 4 с Q3 и 2 с Q4); 10 са представени на международни и национални научни конференции и 1 глава от монография. Осем от публикациите са самостоятелни, в 15 е първи автор. От представените ми за рецензиране материали е видно, че кандидатът има значителен принос в изграждането и обосноваването на научните резултати. Гореизложеното ми дава основание да смятам, че представените приноси са лично дело и с водещото участие на дисертанта.

#### **7. Преценка на публикациите по дисертационния труд**

Основните резултати от изследването са намерили отражение в 24 броя научни публикации, една глава от монография. Шестнадесет от публикациите са реферирани в световните бази данни, като 14 са с квартили. в 15 е водещ автор, а в 8 е самостоятелен. Забелязани са 71 цитирания на публикациите по настоящия дисертационен труд, 52 от които в SCOPUS и 19 в други издания.

#### **8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика**

Резултатите от дисертационния труд имат значителен потенциал за приложение както в научната, така и в социалната практика. Разработените методи за обработка, анализ, моделиране и защита на кардиологични сигнали могат да бъдат използвани при създаването на интелигентни системи за здравен мониторинг, телемедицински платформи и носими устройства. Предложените модели и интегрални HRV индекси предоставят нови възможности за оценка на стрес, умора и възстановяване в спортната медицина, превантивната кардиология и персонализираното здравеопазване. Симулационните модели и концепцията за HRV Digital Twin могат да подпомогнат бъдещи научни

изследвания, обучение на алгоритми с изкуствен интелект и разработване на системи за прогнозиране на физиологични състояния. Разработените решения за сигурност на биомедицинските данни също имат важно практическо значение за защитата на чувствителна медицинска информация в IoT и телемедицински среди.

**9. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните приложения и приносите на дисертационния труд**

Авторефератът в достатъчна степен отразява същността на дисертационния труд, отговаря на изискванията и съдържа основните приложения и приноси.

**10. Мнения, бележки и препоръки**

Нямам критични бележки по съдържанието на дисертационния труд.

**11. Заключение**

Въз основа на анализа на предоставения ми за рецензиране дисертационен труд, неговата значимост и приноси, смятам, че дисертационният труд напълно съответства на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България и Правилника за прилагането му. **Във връзка с това препоръчвам на уважаемото научно жури да присъди на автора доц. д-р инж. Галя Николова Георгиева-Цанева научната степен „доктор на науките“**

Дата 01.06.2026 г.

ЧЛЕН НА НАУЧНОТО ЖУРИ.....  
(проф. д-р Николай Стоименов)