

РЕЦЕНЗИЯ

на доц. д-р **Емил Емилов Владков**, Физически Факултет на СУ "Св. Климент Охридски",
кат. "Радиофизика и Електроника",

на дисертационен труд за присъждане на образователната и научна степен "доктор" по
специалност "Радиофизика и физическа електроника", шифър 4.1. (Физически науки –
Радиофизика и физическа електроника)

Дисертант: Филип Асенов Атанасов

Тема: Модели за предвиждане на затихването в комуникационна LTE мрежа

Научен ръководител: доц. д-р Живко Господинов Кисьовски

1. Общо описание на представените материали

Със Заповед РД 38-485 от 18.07.2017 на Ректора на Софийския Университет „Св. Климент Охридски“ съм определен за член на научното жури за осигуряване на процедурата по защита на дисертационния труд на тема „Модели за предвиждане на затихването в комуникационни LTE мрежи“ за придобиване на образователната и научна степен „доктор“ с автор Филип Асенов Атанасов. Представеният комплект материали на хартиен и електронен носител е в съответствие с Правилника за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в СУ, като включва всички необходими документи. Към дисертацията и автореферата в електронен формат докторантът е приложил 8 публикации А1-А8.

2. Кратки биографични данни за докторанта

Филип Асенов Атанасов придобива образователната степен „бакалавър“ през 2011г., а образователната степен „магистър“ през 2013 г. в програмата „Безжични мрежи и устройства“ във Физическия Факултет на Софийския Университет. От 2013г. е докторант в катедра „Радиофизика и Електроника“ на Физическия Факултет на СУ. Междувременно Филип Атанасов е натрупал и богат практически опит от работата си в различни лаборатории, организации и фирми – от 2009 до 2011 в Лабораторията по фемтосекундна фотоника на ФзФ, през 2012 в компанията „ComSy 54 - Vasil Zashv & Partners“ Ltd, където работи като софтуерен разработчик, отново през 2012 в „ITECO“ Ltd (софтуерен разработчик), от 2012 до 2013 в „Software“ AG (софтуерен разработчик), от 2014 до 2016 в Комисията по регулация на съобщенията в Дирекцията по честотно планиране, където работи като младши експерт, и от 2016 до 2017 в „Мобилтел“ ЕАД, като инженер в Центъра за управление на мрежата. Без съмнение този богат и разнообразен практически опит му е помогнал при работата върху темата на дисертационния труд, засягаща именно една от най-модерните телекомуникационни технологии.

3. Актуалност на тематиката и целесъобразност на поставените цели и задачи

Масовото навлизане на мобилните комуникации в различни сфери на човешкия живот и дейност, както и нарастващите изисквания към честотна лента и скоростите на пренос на данните, особено явни след навлизането на смартфоните, правят разглежданата от докторанта тематика, свързана с 4G Long Term Evolution (LTE) мрежите, особено актуална. Затихването на сигнала в различни типове среда (градски, крайградски, селски и други) и неговото точно моделиране представлява важен фактор за успешната реализация на подобни мрежи в България. Точно такава е и задачата, която си е поставил Филип Атанасов, и по-точно адаптиране на съществуващи емпирични модели чрез корекция в техните параметри към условията на конкретна среда за реализация на

LTE-мрежите. От своя страна оптимизацията на моделите на база експериментално получени данни за нивото на сигнала води до точно определяне на затихването и съответно изчисляване на радиуса на клетките при проектиране и експлоатация на такива 4G-мрежи. Преди извършването на каквато и да е оптимизация разбира се е важно да се подберат приложими емпирични модели, което също е поставено като задача в дисертационния труд. В допълнение докторантът прави статистическо описание на голямомощабния и малкомощабния фединг с цел анализ на влиянието му при измерванията на нивото на сигнала за даден район и определяне на фединговата граница.

4. Познаване на проблема

Направеното обширно въведение, запознаващо читателя с различните стандарти за мобилни комуникационни мрежи, както и подробното представяне на голям брой емпирични и статистически модели за изследване на затихването на сигнала в реална мобилна радио-среда, говорят за задълбочено вникване в естеството на проблема от страна на докторанта. Броят на използваните в дисертацията литературни източници (105) също сам по себе си е показателен за стабилната основа, на която се базират направените в дисертацията анализи, подбор на методи и методология за измерване и последваща оптимизация на моделите.

5. Методика на изследването

Структурата и съдържанието на дисертационния труд следва логиката на поставените в него задачи като тръгва от симулационно изследване на модели, минава през натрупване на експериментални данни и се връща към първичните модели за корекция на параметрите им в съответствие с реално измерените стойности на затихването. Реално основните задачи се подразбиват на подзадачи, следвайки следната структура: осъществени са симулации за определяне на затихването в зависимост от височината на приемната и предавателната антени като са сравнени емпиричните модели COST 231 Hata, SUI и COST 231 Walfisch-Ikegami; симулирана е честотната зависимост на затихването в застроена градска среда за модели WINNER II, ITU 1411 и Ericsson; предложена е методика за определяне на радиуса на 4G LTE клетка на база модели Sakagami, WINNER II и SUI; охарактеризирани са моделите за определяне на затихването в офис среда; изследвано е влиянието на MIMO антенната система върху скоростта на пренос на данните; направено е експериментално изследване на нивото на сигнала в реална 4G LTE мрежа в град София посредством мобилно устройство и специализирано приложение и чрез специализирана измервателна апаратура; с помощта на събраните експериментални данни са оптимизирани моделите log-distance, COST 231 Hata и Ericsson; за определяне на енергийния бюджет на всяка клетка е оценено влиянието на фединга и е определена фединговата граница.

6. Характеристика и оценка на дисертационния труд

Дисертационният труд е добре структуриран и включва увод, четири основни глави, заключение, приноси, публикации и забелязани цитирания, както и използвана литература. Материалът е изложен интересно и увлекателно в рамките на 116 страници, илюстриран е богато със 71 фигури и включва 15 таблици.

В **Увода** се определя важността на проблематиката, свързана с точното определяне на затихването при разпространението на сигналите в LTE мрежите, като са формулирани ясно и целите и задачите на работата.

Глава 1 представлява литературен обзор, започващ с исторически преглед на развитието на мобилните комуникационни технологии, преминаващ през 1G, 2G, 3G и стигащ до 4G поколенията на тези технологии. Въвеждането на четвъртото поколение

мобилни услуги е обосновано с данни за нарастването на общия трафик на данни в мрежите, дължащ се основно на масовото прилагане на интелигентни устройства – смартфони. Представени са основните характеристики на съвременните 4G LTE мрежи, включващи тяхната архитектура, базирана на чиста пакетна комутация, ширината на честотната лента, техниките за осъществяване на многопотребителския достъп, базирани на OFDM-технологията и по-точно на нейния оптимизиран вариант OFDMA за downlink-каналите и SC-FDMA за uplink-режима. Прави впечатление, че независимо от доброто разбиране на разликите между различните технологии за физическия слой, демонстрирано от докторанта в изложението, липсва донякъде прецизност на изказа – например разшифрована е абревиатурата OFDM, но не и OFDMA. Разгледано е приложението на MIMO антенните системи в 4G LTE мрежите, основните физически процеси, влияещи върху разпространението на сигнала, включващи и затихването му и реално резултиращия голямомащабен и малкомащабен фадинг, като се стига и до ядрото на работата, а именно моделите за предвиждане на затихването на сигналите. Категоризирани са три типа модели – детерминистични, емпирични и статистически, като прилагането на детерминистичния подход е отхвърлено поради неразумното нарастване на броя на отчитаните в модела процеси за по-сложна мобилна радиосреда. Подробно е изведен израза за затихването на сигнала при отражение от земната повърхност и отчитане на височините на предавателната и приемната антени. След това теоретично въведение са представени основните модели, предмет на дискусиата в работата, а именно: Log-distance модела, COST 231 Hata модела, SUI-модела, WINNER II модела, COST 231 Walfisch-Ikegami модела, ITU 1411 модела, Ericsson модела и Extended Sakagami модела, като представители на емпиричния клас модели, и Log-normal разпределението, Rician разпределението и Rayleigh разпределението, явяващо се частен случай на разпределението на Ричи, като представители на статистическия клас модели. В крайна сметка може би най-важната част от първата глава представлява критичния анализ за приложимостта на моделите, свеждащ се в крайна сметка до извода, че няма универсален емпиричен модел. Не е ясно защо точно на намерените в литературата данни за оптимизацията на определени модели за определени терени и условия от други автори е отделена около половин страница, без да бъдат предоставени подробности, как при съответното изследване е направено това. Би следвало оптимизацията на моделите да бъде разгледана също така подробно както самите модели, още повече, че това е и основна част на дисертацията.

Глава 2 е посветена на провеждането на симулации за определяне на затихването. Като начало е разгледано определянето на енергийния бюджет на 4G LTE клетка. Симулирана е зависимостта на затихването от височината на приемната и предавателната антени, като са използвани емпиричните модели COST 231 Hata, SUI и COST 231 Walfisch-Ikegami, като е направен извода, че влиянието на височината на предавателната антена върху затихването на сигнала е по-голямо от влиянието на височината на приемната антена. Следва симулационно изследване на честотната зависимост на затихването в моделите WINNER II, ITU 1411 и Ericsson, като логично се забелязва повишаването му с увеличаване на честотата. Следващата симулация представлява теоретично определяне на радиуса на клетка в типична LTE мрежа на база на моделите Sakagami, WINNER II и SUI при избор на параметри, съответстващи на район Лозенец – София и три различни честоти. Логично с увеличаване на честотата на мрежата радиусът на клетката, необходим за постигане на надежден прием, намалява и съответно броят на клетките за осигуряване на покритие нараства. Не става ясно защо иначе тази много полезна от гледна точка на проектирането на мрежата симулация не се свързва по никакъв начин с направените в следващите глави на работата експериментални измервания, които даже са в друг район на града. Това донякъде прави характера на дисертацията фрагментиран, все едно са разглеждани абсолютно независими въпроси. Препоръчвам след експерименталното оптимизиране на моделите, на тяхна база и за района на експеримента да бъде направена същата

симулация за разполагането на клетките (което ще даде възможност да се определи, дали това реално е направено от доставчика на услугата). Следва теоретичното изследване на затихването в офис среда при използване на модели WINNER II – indoor и COST 231 – multi walls multi floors, като са използвани характеристиките на сградата на ФзФ на СУ. Не става ясно защо теоретичното разглеждане на двата модела е направено тук в Глава 2, като по този начин е логически отделено от разглеждането на останалите модели, направено в обзорната Глава 1. Симулациите са направени както в хоризонтален, така и във вертикален план на сградата, като е направен извод за броя на фемтоклетките, необходими за осигуряване на покритие в сградата. Като следваща стъпка е изследвано влиянието на MIMO антенната система върху скоростта на пренос на данни, като логично получените резултати за скорост са най-големи при сложните цифрови модуляции и максимален брой предавателни и приемни антени, а именно MIMO 4x4 64QAM. Това последно разглеждане в Глава 2 “виси” напълно по отношение на целия дух на дисертацията, която се занимава с проблемите на моделите на затихване, а не с оптимизация на схемите за модулация с оглед максимална производителност. По принцип поради адаптивността на системата схемите за модулация се променят и зависят от измереното затихване, но подобна връзка никъде не е изтъкната или разгледана в работата.

Глава 3 представлява практическата част на работата, свързана с измерване на нивото на реален LTE сигнал. Първият подтип измервания се базират на референтните сигнали в LTE downlink канала, използвани по принцип от потребителското оборудване за определяне на качеството на връзката. В началото на самото разглеждане е изяснено и мястото на референтните сигнали в LTE кадровата структура, като трябва да се направи забележката, че в българската научна литература е прието терминът „фрейм“ да се превежда като „кадър“. Указани са честотните ленти, в които работи мрежата на оператора Булсатком ЕАД, за която са правени измерванията в обхвата 1800 MHz. Измерванията са проведени в района на Студентски град в покритието на 3 базови станции. Правено е и измерване в района на кампуса на СУ в Лозенец, като то е осъществено с радиочестотен анализатор, логпериодична антена и лентово-пропускателен филтър. В Лозенец са измервани стойности на електричното поле като функция на разстоянието с цел единствено определяне на затихването на сигнала в обхвата 1800 MHz. Тъй като това измерване по същество интегрира сигнал от много оператори и е неточно, считам че мястото му като точка 3.5.1 на стр. 75 изобщо не е в групата измервания, за които първо се знае, че са осъществени в района на Студентски град (а не Лозенец), и второ се базират или на точен специализиран прибор или на въпросните референтни сигнали, в чиято подточка е включено напълно не на място това базово измерване на полето. Реално се оказва, че са измервани сигналите на 2 базови станции с по 3 сектора на база мобилен телефон с LTE модул и специализирано мобилно приложение, даващо достъп до параметрите на мобилната мрежа на оператора, като от тях интересни са тези, свързани с мощността – RSRP (мощност на референтните сигнали), RSRQ и RSSI. Местоположението на провеждане на измерванията е определено посредством GPS, като резултатите се обработват в база данни на уеб приложение и се визуализират посредством Google maps. Общият брой измервания е 9050. В допълнение на измерванията на мощностните параметри са осъществени и измервания на достижимите скорости в downlink канала, като последните разбира се са напълно нерелевантни по отношение на разглеждания проблем – оптимизация на модели на затихване. В крайна сметка заключението от този първи подтип измервания с мобилно устройство и специализирано приложение е, че тези измервания са неточни, ориентировъчни и не могат да послужат за целите на поставената в работата задача. Прецизните измервания на нивото на сигнала са осъществени с помощта на специализирана измервателна апаратура – Narda SRM 3006, като уредът позволява спектрално измерване, при което за съжаление мери интегрално мощността от всички клетки на оператора в дадена точка, и по-интересното и полезно code-selective

измерване, базиращо се на референтните сигнали, кодирани специфично за клетката, като дори е възможно отличаване на сигналите от отделните антени в MIMO-конфигурацията. Кодово-селективният метод на база референтни сигнали решава и проблема с вариацията на мощността от трафика в мрежата, тъй като RS сигналите не зависят от него. Използваните за оптимизацията сигнали представляват осреднените от двете антени RS-сигнали, реферирани към GPS-координатите на точката, което позволява определяне на разстоянието до базовата станция.

В **Глава 4** са обработени получените експериментални резултати за референтните сигнали, като е направена оптимизация на трите емпирични модела log-distance, COST 231 Hata и Ericsson. На база мощност на един ресурсен елемент от кадъра (RE), определена от мощността на базовата станция, и приетата и измерена мощност се определя експериментално затихването като функция от координатите, тоест разстоянието. Същата зависимост се проследява за моделите на затихване при идентични на реалността параметри за височината на антените, като от неоптимизираните модели най-близък до експеримента се оказва COST 231 Hata. Самият процес на оптимизация, намаляващ средноквадратичната грешка между модел и експериментални данни, се състои в определяне на експонентата на затихването за експерименталните данни чрез линейна апроксимация и прилагане на метода на най-малките квадрати при логаритмична ос за разстоянието. От получената аналитична линейна зависимост се определя затихването на фиксирано разстояние от 100 m. По всяка вероятност параметрите на моделите са оптимизирани/променени до съвпадане на стойностите им за това разстояние, въпреки, че в дисертацията това не е експлицитно указано. Дадени са аналитичните изрази за трите оптимизирани модела. Отчитането на статистическия характер на приемането на сигнала вследствие на голямомощабния фединг обяснява и наблюдаваната дисперсия на експерименталните резултати в рамките на типичните стойности за голямомощабен фединг в градска среда от 10-12 dB. Влиянието на малкото мощабния фединг е отчетено чрез определяне на фединговата граница M (за вероятност на прекъсване на сигнала не повече от 5% при използване на интегралната вероятност за разпределението на Ричи). Определената експериментално експонента на затихване за района на Студентски град определя като най-подходящо за описание на статистическия характер на приемането именно разпределението на Ричи. На практика от това разпределение и експерименталните данни може да се определи K-фактора (отношението на директно към многолъчево разпространение), а от него съответно да се изведе фединговата граница M. За оценка на K-фактора е използван методът на моментите, като на практика при него чрез двата момента – средна стойност на мощността и средноквадратично отклонение на експерименталните данни за различни разстояния до клетката, се оценяват фиксираната мощност и дисперсията на сигнала, а тяхното отношение дава K-фактора. Като обща тенденция K-факторът намалява с увеличаване на дистанцията до клетката вследствие доминиращия многолъчев характер на разпространение на по-големи разстояния, като самият K-фактор, а оттам и фединговата граница M също представлява случайна величина, а определената от разпределението ѝ средна стойност се използва за определяне на енергийния бюджет и радиуса на всяка клетка. Не става ясно защо, след като за определяне на фединговата граница M докторантът е избрал еднозначно да използва разпределението на Ричи, се коментират три отделни разпределения – Гаусово, Ричи и Релей за три избрани разстояние до клетката, а именно във фигури 4.5, 4.6 и 4.7. В края на Глава 4 е направен недобре структуриран и отделен от останалото изложение опит за заключение и изводи на главата.

7. Приноси и значимост на разработката за науката и практиката

Основните приноси на дисертационния труд са от голяма значимост за успешното прилагане на 4G LTE технологията като следствие на едно разумно, съобразено с предложените емпирични модели и методи за тяхната оптимизация, проектиране.

Приносите (6 на брой) имат научно-приложен и приложен характер. Приносите могат да бъдат обобщени както следва:

- Осъществяване на числени симулации на затихването на сигнала на 4G LTE мрежа на база емпирични модели – принос с научно-приложен характер;
- Теоретично определяне на радиус на клетката и зона на покритие на 4G LTE мрежа за определен район – принос с приложен характер. Не приемам оценката на влиянието на броя на антените в MIMO-конфигурация и видовете модулация върху скоростта на пренос на данните като елемент на този принос, тъй като представените данни не са новост и са част от стандартизационни документи, засягащи принципа на работа на 4G LTE;
- Разработена е методика за измерване на нивото на приетия сигнал, а оттам и на затихването му – основен принос на дисертацията с приложен характер;
- Оптимизирани са емпиричните модели на затихването за даден район на база експерименталните данни – основен принос с научно-приложен характер. По принцип самият подбор на емпиричните модели за оптимизация може да бъде отделен като самостоятелен важен принос, разбира се при подходяща обосновка на избора;
- Определено е влиянието на голямомащабния фединг за направените измервания като е оценена дисперсията на експерименталните данни – само по-себе си значимостта на този приложен принос не е толкова голяма, че да предполага обособяването му като отделен такъв. Препоръчвам обединяването му със следващия принос;
- Определено е влиянието на малкомащабния фединг за изчисляване на енергийния бюджет на клетките посредством определяне на K-фактора и фединговата граница M при използване на разпределението на Ричи – принос с научно-приложен характер.

8. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Публикациите, свързани с темата на дисертацията, са 8 на брой, с което значително надхвърлят изискванията на Физическия Факултет на СУ за придобиване на степен “доктор” за 3 публикации. 3 от 8-те публикации са в реномирани и реферирани издания, едно от които (публикация А4) е с импакт фактор 0.251, като и в 3-те публикации докторантът има водещ принос. 5-те останали публикации са участия в национални конференции с международно участие. Подробното разглеждане на самите публикации показва, че те наистина отразяват извършената в настоящия дисертационен труд теоретична и експериментална работа. Единствено публикация А6, както и параграф 2.6 от дисертацията, с който тя е свързана, е далеч от тематиката за моделите за затихване в 4G LTE мрежа, поради което не я приемам, което обаче не намалява стойността на публикациите, тъй като последната представлява участие в конференция. Забелязани са 2 независими цитирания на представените публикации от 2016 г., което предвид това, че най-старата публикация е от 2013 г., показва засилен интерес към предложената методология.

9. Лично участие на докторанта

Големият обем на извършената експериментална работа по осъществяване на измерванията на действаща LTE мрежа, както и анализът на получените резултати и прилагането им за оптимизация на модели на затихване, безусловно предполагат активно значимо лично участие на докторанта. Анализът на моделите и проведените теоретични числени симулации, както и тълкуването на техните резултати, определено говорят за много добри придобити умения за провеждане на изследователска работа от страна на г-н Филип Атанасов.

10. Автореферат

Авторефератът в обем от 35 страници отразява коректно съдържанието на дисертационния труд, като включва основните резултати и е богато илюстриран със съществените за работата графики. Авторефератът е изработен според изискванията на съответните правилници.

11. Критични забележки, въпроси и препоръки

Независимо от доброто структуриране на работата прави впечатление липсата на обособени заключения и изводи на Глава 2 и 3, а опитът за заключение на Глава 4 не е особено успешен.

На определени места в дисертацията липсва прецизност на изказа – например абревиатурата OFDM е изяснена в параграф 1.2.3 (стр. 15), но това не е направено за абревиатурата OFDMA.

На намерените в литературата данни за оптимизацията на определени модели на затихване за определени терени и условия от други автори е отделена около половин страница в Глава 1, без да бъдат предоставени подробности, как при съответното изследване е направена оптимизацията. Би следвало оптимизацията на моделите да бъде разгледана също така подробно, както самите модели в литературния обзор, още повече, че това е и основна част на дисертацията.

Не става ясно защо иначе много полезната от гледна точка на проектирането на мрежата симулация за определяне на радиуса на клетките в 4G LTE мрежа в параграф 2.4 на Глава 2 не се свързва по никакъв начин с направените в следващите глави на работата експериментални измервания, които даже са в друг район на града (Студентски град, а не Лозенец). Това донякъде прави характера на дисертацията фрагментиран, все едно са разглеждани абсолютно независими въпроси. Препоръчвам след експерименталното оптимизиране на моделите, на тяхна база и за района на експеримента да бъде направена същата симулация за разполагането на клетките като тази в Глава 2, като това ще отговори и на въпроса, дали такова обосновано разполагане на базовите станции реално е направено от доставчика на услугата.

Не става ясно защо теоретичното разглеждане на затихването в офис среда при използване на модели WINNER II – indoor и COST 231 – multi walls multi floors е направено в параграф 2.5 на Глава 2, заедно със симулационните изчисления за сградата на ФзФ-СУ, като по този начин е логически отделено от разглеждането на останалите модели, направено в обзорната Глава 1.

Последното разглеждане в параграф 2.6 на Глава 2 за влиянието на MIMO антенната система и схемите на модулация върху скоростта на данните, постижима при LTE технологията, „виси“ напълно по отношение на целия дух на дисертацията, която се занимава с проблемите на моделите на затихване, а не с оптимизация на схемите за модулация с оглед максимална производителност. По принцип поради адаптивността на системата схемите за модулация се променят и зависят от измереното затихване, но подобна връзка никъде не е изтъкната или разгледана в работата.

При разглеждането на референтните сигнали в LTE кадровата структура в параграф 3.2 на Глава 3 масово се използва терминът „фрейм“, като трябва да се отбележи, че в българската научна литература по въпроса е прието „фрейм“ да се превежда като „кадър“.

Проведеното измерване в района на кампуса на СУ в Лозенец, осъществено с помощта на радиочестотен анализатор, логпериодична антена и лентово-пропускателен филтър и по същество представляващо измерване на електричното поле като функция на разстоянието с цел определяне на затихването на сигнала в обхвата 1800 MHz, поради това, че интегрира сигнал от много оператори и е неточно, изобщо няма място като точка 3.5.1 на Глава 3. То изобщо не може да се причисли към групата измервания,

за които първо се знае, че са осъществени в района на Студентски град (а не Лозенец), и второ се базират или на точен специализиран прибор или на референтни сигнали, в чиято подточка е включено напълно не на място това базово измерване на полето.

В допълнение на измерванията на мощностните параметри са осъществени и измервания на достижимите скорости в downlink канала, като това е илюстрирано на Фиг. 3.16 на стр. 82. Подобни измервания са напълно нерелевантни по отношение на разглеждания проблем – оптимизация на модели на затихване, тъй като не дават стойности на затихването, които могат да се използват при методологията.

Не става ясно защо, след като за определяне на фадингвата граница М докторантът е избрал еднозначно да използва разпределението на Ричи, се коментират три отделни разпределения – Гаусово, Ричи и Релей за три избрани разстояние до клетката, а именно във фигури 4.5, 4.6 и 4.7.

Фиг. 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 и 4.8 не са форматиран коректно като етикети на осите и не отговарят на означенията в графиките и изразите, използваните в Глава 1, където са въведени статистическите модели.

Имам следните въпроси към докторанта Филип Атанасов:

Може ли докторантът да изясни предложената методология на оптимизация на емпирични модели на затихване с цел напасването им към получени експериментални данни универсална ли е, и съответно изразите за оптимизираните модели (4.4) и (4.5), както и параметрите на последния модел на стр. 92/93, могат ли да бъдат прилагани при проектирането на LTE мрежи и в други райони на съответното населено място, или процедурата по оптимизация трябва да се повтори отново?

Как точно са оптимизирани/променени параметрите на избраните моделите по отношение на линейната апроксимация на експерименталните данни, получена по метода на най-малките квадрати, тъй като в дисертацията това не е експлицитно указано, а се споменава определяне на затихването на разстояние 100 m?

12. Заключение

Независимо от направените забележки проблематиката, разгледана в дисертационния труд, е изключително актуална, а г-н Филип Атанасов е провел както сериозни аналитични изследвания и симулации, така и голям брой практически измервания, при това не в лабораторни условия, а върху реално работеща мрежа. Това резултира в полезни за практиката научно-приложни и приложни приноси и резултати с голям потенциал за доразвиване и прецизиране на методиката. Представеният ми за разглеждане материал отговаря на всички изисквания на Закона за развитие на академичния състав в Република България (ЗРАСРБ), Правилника за прилагане на ЗРАСРБ и съответния Правилник на СУ "Св. Климент Охридски". **Позволявам си да препоръчам на почитаемото научно жури да присъди образователната и научна степен „доктор” на Филип Асенев Атанасов в професионално направление 4.1 Физически науки – Радиофизика и физическа електроника.**

21.09.2017

Рецензент:

(доц. д-р Емил Владков)