

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: Иван Илиев

Тема: Аерокосмически дистанционни методи за изследване на радиационната
обстановка

Научен ръководител: доц. д-р Пламен Илиев Данков

1. Общо описание на представените материали

Със Заповед РД 38-42Б от 22.07.2019 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 „Аерокосмически дистанционни методи за изследване на радиационната обстановка” за придобиване на образователната и научна степен „доктор” с автор Иван Илиев. 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 9 публикации.

2. Кратки биографични данни за докторанта

Иван Илков Илиев придобива образователната степен „бакалавър” през 2010г., а образователната степен „магистър” през 2013 г. в програмата „Безжични мрежи и устройства” във Физическия Факултет на Софийския Университет. От 2015г. е докторант в катедра „Радиофизика и Електроника” на Физическия Факултет на СУ. Междувременно Иван Илиев натрупва ценен практически опит в различни фирми, в които работи – от 2007 до 2008 в ЕТ „Грейт”, Стара Загора, през 2008 в „Магнит Мат” ООД, Стара Загора (електромонтажист), през 2009 в „Антономекс” ЕООД, където се занимава с животоподдържаща медицинска апаратура, а от 2010 до момента в „Тита-Консулт” ООД, София, където е ангажиран именно с темата на радиационния контрол и защита в пълен синхрон с тематиката на работата в дисертационния му труд. В последната си месторабота той кариерно израства от физик-електроник до ръководител на проекти и лице, ангажирано с обучението на персонал и предствляване на работниците по ЗБУТ. Определено съвпадението на тематиката на дисертационния труд с конкретната професионална ангажираност на докторанта към момента е допринесло за високото качество на представения ми за рецензиране материал. Освен заниманията му с хардуер и нови технологии като хоби, Иван Илиев има значителни технически умения и компетенции, за които свидетелстват множеството сертификати – за преминати курсове за мониторинг на радиационно замърсяване (Германия), за техническа поддръжка на системи към Министерството на околната среда и водите, за превозване на радиоактивни товари, както и придобитите правоспособности за учител по физика и учител по системи за радиационен контрол. Личните ми впечатления от Иван Илиев са точно, както е описал в Автобиографията си, – контактна и отговорна личност, на която може да се разчита и на която могат да бъдат възлагани сериозни задачи.

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

Много човешки дейности са свързани с използването на ядрена енергия, като това не са непременно само тестовите на ядрено оръжие. Всички тези дейности налагат строги мерки за безопасност и методика за реагиране при инциденти, свързани с разпръскване на радиоактивност в околната среда. Съществуват и дейности като рудодобива и добива на фосилни горива, които увеличават естествената радиоактивност на повърхността на земята. В такъв смисъл тематиката на дисертационния труд е повече от актуална, а мощните средства, които предоставя микроелектрониката и новите технологии в ръцете на инженерите, занимаващи се с радиационна защита, определят целесъобразността на задачите, които си е поставил докторантът Иван Илиев – оптимизация на възможностите за въздушно гама-спектрометрично картографиране при използване на безпилотни летателни средства и рояци от малки спътници. Както става ясно от работата подходът е иновативен не само в мащаба на България (с известно само едно такова проучване през 2014), но и в международен план при изпълнение на новите методи за провеждане на въздушни радиационни обследвания. Актуалността на избраната тематика се потвърждава и от многото работи на различни научни екипи в областта на приложимостта на безпилотни летателни средства за радиационни измервания през последните 10-15 години, както се вижда от стр. 62 на дисертационния труд. Допълнителна актуалност и целесъобразност на работата се добавя и от засягането в нея на все по-популярните и интересни от изследователска гледна точка проблеми с намаляването и увеличаването на „видимостта” на безпилотните летателни средства (БЛС) за радарните системи – в единия случай с цел секретност, а в другия – с цел безопасност за гражданската авиация.

4. Познаване на проблема

В дисертационния труд са засегнати много различни тематики, което прави изследването на практика интердисциплинарно. При това Иван Илиев показва задълбочени познания както на методите и средствата за измерване на параметрите на йонизиращите лъчения, така и на методологията на гама-картографирането, пренесена от сферата на пилотируемите летателни средства към развиващия се пазар на безпилотни летателни средства (БЛС). Редом с тези основни въпроси в дисертацията се разглеждат апаратни решения, предполагащи добро познаване на съвременната електроника, както и използването на подходящи софтуерни пакети с аналитични функции. Засегнати и то доста основно са дори въпросите, свързани с новите материали и технологии за модифициране на ефективната отразяваща повърхност на летателните средства за специални мисии и използването на рояци от малки спътници за целите на гама-астрономията. Броят на използваните в дисертацията литературни източници (186) е впечатляващ и говори за стабилна теоретична и изследователска подготовка преди и по време на написване на материала на настоящото изследване.

5. Методика на изследването

Структурата на дисертационния труд е насочена към пренасяне на натрупания опит от гама и гама-спектрометрични обследвания с пилотируеми апарати (хеликоптери) към използване на по-евтини и с допълнителни възможности (изследване на трудно-достъпни или опасни терени) безпилотни летателни средства. Това налага адаптация на използваните детектори и разработване на специализирана измервателна система, като в дисертацията са представени и експериментални резултати от обследвания със симулирани източници на замърсяване, целящи да обосноват приложимостта на гама-картографията с БЛС. Редом с това се доказва и предимството на гама-спектрометричните обследвания спрямо тези по обща скорост на броене, особено за случая на безпилотни апарати при оптимизиране скоростта, височината на полета и МДА. Допълнително изследването си поставя за задача да приложи към БЛС нови техники и материали за модифициране на ефективната отразяваща повърхност (ЕОП) с

потенциално приложение при секретни мисии и при обследвания в близост до места със засилен въздушен трафик. Идеята за използване на БЛС за гама-спектрометрия се пренася в открития космос с концепцията за използване на рояци от сателити с основно приложение осигуряване на 5G интернет достъп за натрупване и пренос на данни, свързани с гама-астрономията. Това е естествено продължение на основната методика на изследването поради сходството в изискванията и ограниченията, поставяни към гама-спектрометричните обследвания, между безпилотните летателни апарати и сателитите.

6. Характеристика и оценка на дисертационния труд

Дисертационният труд е изключително добре структуриран и приятен за четене! Той включва увод, осем глави, заключение, научни приноси, публикации, благодарности, както и използвана литература. Материалът е изложен в рамките на 179 страници, илюстриран е богато с фигури и таблици.

В **Увода** се определя актуалността на проблематиката по прилагането на нови методи при въздушното гама-спектрометрично картографиране, с акцент върху използването на безпилотни летателни средства и адаптация на методите за калибриране на измервателната апаратура.

Глава 1 има обзорен характер, като включва общ преглед на йонизиращите лъчения (алфа-лъчения, бета-лъчения, неутрони, рентгенови лъчения и гама-лъчения) и техните източници. Разгледани са различните типове детектори на йонизиращи лъчения, използващи различни физични и физико-химични ефекти – Гайгер-Мюлерови броячи, йонизационни камери, сцинтилационни детектори и набиращите актуалност в някои свои модификации с оглед използването им в БЛС полупроводникови детектори. Разбира се, свързано с детекторите, докторантът е описал и електронните системи за първична обработка, включително и цифрова такава. Подробно разгледани заедно с техните параметри са спектрометричните системи, позволяващи определяне на броя импулси в различни енергийни прозорци, а заедно с това и интерпретация за типа и източника на съответното лъчение. Разгледани са общи въпроси, свързани с измерването на йонизиращите лъчения, които са предмет на дозиметрията, а именно различни типове измервани величини и техните мерни единици, класифицирани като основни физични величини, лъчезащитни величини и оперативни величини. Тези величини служат за оценка на параметрите на йонизиращото лъчение, като най-често за целта се използват спектрометрични измервания с последваща обработка на база библиотеки и софтуерни инструменти. Разгледана е „оценката на неопределеност“ и „минималната детектируема активност“. Главата завършва с експеримент по измерване на отслабването на гама-лъчи при покрити източници, на база на който са направени интересни изводи за ефекта на обратно разсейване в зависимост от положението на източника спрямо повърхността на земята. До известна степен е странно присъствието на експериментални резултати и тяхното тълкуване още в уводната част на работата.

Глава 2 описва подробно методиката за калибриране на гама-спектрометрична система. Разгледани са трите вида калибриране – по енергии, по форма на линията (разделителна способност) и по ефективност. Описан е практически алгоритъм за осъществяване на калибрирането по енергии, представени са данни за разделителната способност на най-често използваните детектори за спектрометрия, оценена е важността на различните фактори при осъществяването на калибровката по ефективност преди извършването на реално измерване с БЛС – геометрия, матрица и енергия на лъчението. На база на горните фактори са формулирани и основните изисквания към еталоните за ефективност. Представена е методиката за осъществяване на измервания на земята за верификация на резултатите от въздушно обследване. Доколкото става ясно от изложението докторантът е преминал

специализирани обучения от производителите на измервателните системи във Франция и Англия за компетентно извършване на описаните калибровъчни процедури.

Глава 3 описва използваната стандартна процедура за гама-картографиране от въздуха с пилотируеми летателни средства. След представяне на кратък исторически преглед е описано изпълнението на серия от експерименти по гама-спектрометрично обследване, в които докторантът е участвал като част от работата си за повече от 9 години към фирма Тита-Консулт ООД. Подробно са описани използваната апаратура, летателните средства, както и летателните планове на съответните проучвания. Разгледани са важни параметри на едно практическо обследване, като височина на полета, скорост на полета, разстояние между профилите на облитане и по-точно как тези параметри влияят върху натрупването на импулси в измервателната система. Разгледан е механизмът на калибровка на детекторната система, както и отчитането на фона по време на полет с неговите четири компонента – собствен, радон, космичен и фолаут. Дадени са теоретични зависимости и експерименталната им или емпирична интерпретация за изменението на космичното лъчение във височина, за изчисляване на нетната стойност на приноса в импулсите на космичното лъчение, както и за изчисляването на активността и мощността на дозата на земята на база направените във въздуха на определена височина измервания. Разгледани са непрекъснат и точков модели, като са отчетени височинните корекции, необходими за обследване на територии, които не са равнинни, а представляват пресечена местност. Мощностите на еквивалентните дози се разглеждат като сума от тези на естествените радионуклиди, техногенните радионуклиди и космичното лъчение. Определено представените в тази глава данни са полезни с цел точното определяне на задачите и предизвикателствата към процеса на адаптиране на използваните методики към ограниченията на безпилотните летателни средства.

Глава 4 пренася проблематиката на реализирането на гама-спектрометрични обследвания от света на пилотируемите ЛС в света на безпилотните летателни системи. За целта е направен обзор на историята, различните приложения и перспективите за развитие на БЛС от различен калибър. Класификацията на БЛС е направена по два критерия – принцип на създаване на подемната сила, различаващ БЛС с фикрирано и такива с ротиращо крило, и размер – нано, мини, средни и големи. Полезната част на четвърта глава реално е оценката на възможностите за използване на безпилотни летателни средства за измерване на радиационната обстановка. Разсъжденията на докторанта водят в посока на адаптиране на използваната до момента от екипа на Тита Консулт ООД апаратура към по-малките възможности на БЛС, конкретно вместо използването на 4 детектора с обем 4l, използването само на един такъв, и резултиращото от това намаляване на необходимата височина на полета от 60 m на 48 m с цел компенсирание на намалената от размерите му чувствителност на детектора. Освен това полезни са разглежданията за реализирането на полети на много малки височини (1-2 m) при много ниска скорост (под 1 m/s), което позволява използването на детектори, които са на порядъци по-малки от тези, използвани до момента за облитане. От главата също така става ясно, че екипът, в който работи докторанта, се е спрял на БЛС на китайската фирма монополист на пазара DJI поради комбинацията на ниска цена, лесно управление и висока надеждност.

Глава 5 на дисертационния труд представлява началото на съществената експериментална дейност по гама-картографиране с БЛС. В началото на главата са формулирани основните цели на експеримента, които могат да се разглеждат и като съществена част от целите на дисертацията като цяло. Направен е мотивиран избор на сцинтилационен детектор, като част от неразделимата система измерителен уред – БЛС, като този избор се диктува от оптималното отношение тегло/чувствителност. Описана и представена е и самата детекторна система, базирана на Arduino модули,

като е илюстриран в снимков материал завършеният ѝ сглобен вид, включващ освен детектора и GPS-приемник, ултразвуков далекомер и автономно хранване. Избора на другата част от неразделимата система – БЛС, се е спрял на квадрокоптера DJI Phantom 4 PRO. За опитна площадка е избран теренът пред Физическия Факултет на СУ, за който е реализиран летателен план с помощта на свободния софтуер Mission Planner при избрано разстояние между профилите на облитане, равно на височината на полета. Извършено е калибриране на системата със сертифицирани източници при отчитане на фона. В крайна сметка експеримента е осъществен при равномерна скорост на БЛС от 1 m/s, време на интегриране 1 s и радиус на видимата от детектора зона 1 m. Представени са данни за измерената относителна височина на полета и времевата диаграма за скоростта на броене в точките на облитане. След първоначалното запознаване с радиационната обстановка, при което се забелязват два отчетливи максимума около симулираното с точкови източници замърсяване, е съставен втори летателен план за точно определяне на активността в двете точки с открити източници на йонизиращо лъчение (чрез зависване над тях). В крайна сметка точното определяне на координатите на двете точки при облитане с определена скорост и разпределяне на отчетената активност и по съседни измервателни точки се оказва твърде деликатна аналитична процедура, подробно описана от докторанта, заедно със съответния математически апарат. При това е отчетено и отместването при геореферирание, тъй като за всяка точка GPS-координатите са отчетени в края на периода на интегриране за нея (тоест не в средата на овала на интегриране на БЛС). При решаване на обратната задача на база изчислените точни координати на точката на ИИЛ се определя ефективната скорост на броене в тази точка. Не става много ясно направено ли е наистина второ облитане над точките със зависване за потвърждаване на прогнозните аналитични резултати. Обработката на експерименталните резултати е реализирана със специализиран софтуер ArcGis, като в работата са представени и съответните гама-карти по скорост на броене и по мощност на дозата на височина 2 m. Изведен е важен извод за необходимостта от калибриране на детектора с източник с подходяща енергия, за да се избегне потенциалното недооценяване на активността на източници с други радионуклиди, както това се е случило в експериментална точка 62 (Фиг. 5.5.1 на стр. 82). В крайна сметка невъзможността за предварително познаване на радионуклидния състав на замърсяването в реални условия налага използването на спектрометрична, а не просто броячна система – така е направен естествен преход към следващата глава на работата. В края на тази глава е направена оценка за постигнатата минимална детектируема активност и неопределеността на измерването. На практика това представляват изчисления на статистическата грешка от измерването.

Глава 6 продължава изложението на направената експериментална работа по гама-картографиране с БЛС, но в посока използване на гама-спектрометрия. Това налага включване на допълнителна функционалност на детекторната система с възможност за натрупване и записване на спектри (използване на многоканален анализатор), както и използване на детектор с по-голяма чувствителност с резултиращи от това оптимизация на летателното време и необходимост от осигуряване на БЛС с по-голяма товароносимост. Подробно са разгледани избора на детектор (МСА с необходимия брой канали за осигуряване на необходимата разделителност) и безпилотно летателно средство с по-големи възможности – хексакоптера DJI Matrice 600. Представени са блокови схеми и снимки на използваната измервателна установка. Следва описание на подготовката на полета, включващо изготвяне на летателен план и калибриране на системата, като са направени и разсъждения за влиянието на по-голямата ефективност на използвания детектор (спрямо този в Глава 5, използван за броячно картографиране) върху скоростите на броене и съответно необходимото време за прелитане на видимата зона на замърсяването. Оценено е допълнителното подобряване на минималната детектируема активност (МДА) в резултат от използването на спектрометрични методи.

Самото гама-спектрометрично обследване в осъществено на територия в извън-градска среда, като разстоянието между профилите на прелитане е увеличено от 2 m на 6 m, а височината на прелитане от 2 m на 3 m. Промяната на всички тези условия налага нова калибровка с построяване на кривата, описваща енергийната зависимост на ефективността по няколко гама-линии, препоръчани от производителя на сцинтилатора. Преди същинското провеждане на експеримента е направено заснемане на обследвания терен и георефериране на снимките за изграждане на актуална подложка на радиационните карти. Експресният анализ на резултатите с преносим компютър е направен със софтуера ArcMap заради по-добрата разделителна способност и наличието на допълнителни софтуерни инструменти за анализ. Експресният анализ на резултатите установява точков източник на замърсяване. След първоначалното облитане се налага допълнителен полет със задаване на координатите на открития точков източник като точка на зависване. Изследвано е влиянието на височината на полет върху неопределеността на измерване, резултиращо в две компоненти – неопределеност от отклонение на позициониране и неопределеност от скорост на броене. На база на комбинираната неопределеност е определена оптимална височина от 15 m, която обаче за съжаление не е практически реализируема с използваното БЛС. Резултатите са обработени и визуализирани, като сравнението на броя импулси в целия спектър с отделните карти на ROI за отделните техногенни радионуклиди нагледно демонстрира предимството на спектрометричните изследвания за подобряване на МДА и откриването на замърсявания, които иначе биха останали маскирани. Резултатите от втория полет със зависване са представени като спектър, в който ясно се виждат откритите техногенни радионуклиди ^{137}Cs и ^{60}Co . На база измерените скорости на броене са изчислени експерименталните активности на симулираното точково замърсяване и е открито повече от задоволително съвпадение с реалните стойности за източника. Оценката на неопределеността основно се повлиява от неточността в определянето на височината, която силно зависи от терена и може да достигне до 40%, както и от неточностите в методите на позициониране, които могат да допринесат до обща грешка от над 150%, което определено налага според мен преосмисляне на използвания за експеримента хардуер, особено, ако се цели осъществяването на реални полеви измервания.

Глава 7 донякъде „бяга“ от гама-спектрометричната тематика на дисертационния труд, като предлага методи за изкуствено манипулиране на ефективната отразяваща повърхност (ЕОП) на безпилотни летателни средства с цел правенето им „видими“ или „невидими“ за радарните установки. Подобряването на „видимостта“ на БЛС би било полезно при провеждане на облитания за гама-спектрометрия в близост до райони с често прелитащи въздухоплователни средства с оглед безопасност. Намаляването на „видимостта“ би намерило приложение в секретни мисии. За увеличаване на ЕОП се предлага използването на специални обекти – отражатели, основно от тип „кръстачка“ или такива, съставени от трихедрали. В главата са правени 3D електромагнитни симулации на такива обекти и са провеждани лабораторни измервания на сложни отражатели, завъртяни под различни ъгли спрямо падащата вълна. Резултатите показват еднозначно увеличаване на ЕОП, особено при някои ъгли на падане. За намаляване на ЕОП са разгледани три метода, срещани в литературата – „стелт“-технологията, използването на метаповърхности и използването на поглътители на ЕМ вълни. За целите на настоящата работа за удачен е приет третият метод, който е разгледан подробно на база градиентно-въглеродни поглътители. Направени са практически измервания на нарязани на слоеве образци (метод за определяне на диелектричните параметри на образците, които не са константни по дебелина на образеца), след което е предложен многослоен аналитичен модел за изчисляване на обратните загуби от отражение (RL). Получените графични аналитични резултати са сравнени с резултатите от симулация, като се констатира добро съвпадение и

съответно приложимост на предложения модел. Направени са и експериментални измервания на материал HR A15, сравнен с обикновен поглътител LS26. Като цяло главата доказва приложимостта на методите за модифициране на ЕОП при БЛС, без разбира се да са предложени конкретни конструкции за определен тип летателно средство, използвано за гама-спектрометрични обследвания.

Глава 8 обсъжда допълнителни въпроси, свързани с гама-спектрометричните обследвания. На първо място се визира оптимизирането на измервателната система, вкл. усъвършенстване на летателния план на БЛС, допълнително оптично заснемане, както и по-точното определяне на височината на полета. Премахването на дублажите на някои системи (GPS навигацията на БЛС и на детекторната система например) също е обект на дискусия. Предложено е прилагането на широко използваното средство за позициониране RTK (Real-Time-Kinematic), позволяващо по-бързо позициониране с по-голяма точност (cm) за по-маломасштабни обследвания. Разгледани са различни методи за навигация на БЛС в закрити пространства – ултразвук, LIDAR и използване на видео-камери. Направени са изчисления за евентуално изпращане на измервателните данни от обследването в реално време, като е оценена необходимата скорост на комуникационния канал. В отделен раздел на главата се поставя въпроса за измерване на йонизиращи лъчения от космичен характер, провеждани по сателитна орбита. Обзора на проблема прераства в задълбаване в технологиите за измерване на космическа гама-радиация с малки спътници и обсерватории и навлизане в пределите на гама-астрономията. Следва подробен исторически преглед на редица мисии по изпращане на космически сонди за целите на гама-астрономията, както и разглеждане на възможностите на сравнително новата технология за модулни сателити CubeSat. Споменава се дори и синхронизирано приложение за смартфони, позволяващо оценка на космичните лъчи с ултрависока енергия (проект CRAYFIS) – идеята тук е по аналогия да се разработи разпределен алгоритъм за рояци от спътници, мерещи гама-фона от космоса, като се използват новите проекти за извеждане в орбита на огромен брой комуникационни сателити с основно приложение доставяне на широколентов интернет. Разбира се се засягат свързаните с тази тематика въпроси за избора на подходящи за малките спътници гама-детектори, прави се оценка на необходимата скорост на комуникационните линии и режима на тяхната работа за подобна изнесена в космоса гама-спектрометрична система, като дори са направени оценки на необходимия бюджет на самия радиочестотен канал (мощност, усилване на антените, запаси, честоти и честотни ленти). Общото впечатление от Глава 8 е за претрупаност, представяне на разнородна информация (методи за навигация на БЛС в закрити пространства, комуникационни линии на БЛС, гама-астрономия, малки сателити, комуникационни линии и бюджет на комуникационните линии за сателитни връзки и изчисляване на необходимите мощности) в относително малък обем. Само по себе си всичко това би било подходящо за отделен дисертационен труд, където да се развие в рамките на необходимия за това обем.

Дисертацията завършва естествено със **Заклучение**, представляващо на практика свързано обобщение на работата и резултатите в различните глави на материала.

7. Приноси и значимост на разработката за науката и практиката

Всички приноси на дисертационния труд са свързани с методи за подобряване на системите за радиационно обследване и гама-спектрометрично картографиране, като те имат определено научно-приложен и приложен характер. Предвид важността на проблематиката с измерването на естествените радионуклиди и замърсяванията, причинени от техногенни радионуклиди, както и изследването на космическите лъчения, определено усъвършенстването на методиките за изследването им и предлагането на нови такива е важно, както за науката, така и за военни, граждански и промишлени приложения. Приносите са 6 на брой и могат да бъдат обобщени както следва:

- Адаптирани са общите препоръки на Международната агенция за атомна енергия (МААЕ) за въздушни гама-спектрометрични обследвания към различни условия – височини, терени, открити и закрити площи. При това е създаден модифициран модел за калибриране в зависимост от геометрията и височината, а експериментално, чрез наземни сравнителни измервания, е доказана неговата приложимост за пилотируеми летателни средства. Приносът е с приложен характер;
- Извършено е за първи път пилотируемо въздушно гама-спектрометрично картографиране на големи площи с голямообемни детектори. При това са създадени карти на концентрацията на естествените радионуклиди, както и карти на активността на техногенните радионуклиди ^{137}Cs и ^{60}Co . В допълнение са съставени карти на общата мощност на дозата, приведена към ниво земна повърхност, и сравнителни карти, доказващи точността на калибровката по нивата на естествените радионуклиди и откриващи нови замърсявания от техногенни радионуклиди. Приносът е с приложен характер, но считам, че извършената дейност по пилотируемо облитане, измерване и картографиране е дело на голям екип на фирма Тита Консулт ООД, а и е част от служебната дейност на докторанта, която макар и да е била така да се каже инициатор на идеите за използване на БЛС и предложените в дисертацията нови концепции, не е основна за същността на дисертацията. По тази причина приемам ограничено този принос, по скоро като такъв със спомагателен характер за работата;
- За целите на безпилотното дистанционно измерване на радиоактивност е разработена олекотена, универсална модулна детекторна система, позволяваща използването на два различни детектора. Системата е гъвкава именно поради своята модулност и може да бъде адаптирана към поставените цели на конкретно измерване. Системата е базирана на Arduino модули, за които е разработено специализирано програмно осигуряване. За съжаление софтуера не е описан в работата дори като блокова диаграма или алгоритмична диаграма, поради което не го разглеждам като част от приноса. Самата разработка на модулната система е основен принос на дисертацията и я приемам като такъв;
- С цел намаляване на значителната неопределеност, установена при изследванията по дистанционно гама-картографиране, дължаща се на недостатъци на навигационните системи на БЛС и на детекторния модул, са разработени методи за корекция в методите на измерване (на база направена също така точна аналитична оценка на неопределеността) и е препоръчано използване на по-добри технически средства за навигация, позволяващи точност на позициониране до см. Приносът е с научно-приложен характер и по-скоро показва границите на приложимост на съществуващото комерсиално достъпно оборудване (БЛС, Arduino-модули). Може би най-ценно в него е аналитичното определяне на неопределеността. Към този принос бих добавил и извършената работа по оценка на МДА и оценка на фона, както и разработения геометричен модел (стр. 78) за определяне на точната позиция на източник на замърсяване след първичното облитане, полезно за изготвянето на втори летателен план с точки на зависване за детайлизирани измервания. В описаната процедура, която за съжаление не е посочена като принос или част от такъв, а е важна според мен, е отчетено отместването на координатите на георефериране поради времето на интегриране, движението на летателното средство, както и попадането на източника на йонизиращо лъчение някъде между паралелните профили на облитане. приемам приноса с допълнението на описаната по-горе процедура по геометрично определяне на точните координати на замърсяването;

- Проведени са два експеримента с БЛС по картографиране на изкуствено поставени източници със и без спектрометрия при използване на универсалната олекотена измервателна система, с прилагане на методиката за намаляване на неопределеността в позиционирането от предишния принос и при използване на модифицираните модели за калибриране от първия принос. Направени са и сравнителни измервания с ръчно-преносим детектор, доказващи достоверността на резултатите и създадените карти. Приносът е с приложен характер и също така е основен за работата, доколкото доказва приложимостта на БЛС и методите за измерване, адаптирани към тях, в областта на гама-картографирането. Приемам приноса;
- Предложени са технически и методологични подобрения на аеро-космически средства за осъществяване на дистанционно гама-картографиране – тук става дума както за БЛС, така и за рояци от спътници с друго основно предназначение (широколентов интернет достъп). За БЛС с наземни мисии са разгледани методи за намаляване или увеличаване на ефективната отразяваща повърхност, и по този начин адаптирането им към чувствителни откъм секретност или безопасност мисии. В работата са представени изследвания на градиентни поглътители. Приносът е с научно-приложен характер и го приемам като цяло, а в частта по модифициране на ЕОП с препоръка да бъде доразвит в конкретна разработка и експериментално прилагане в действително безпилотно летателно средство с последващ експеримент не в лаборатория, а в полеви условия, с което да бъде доказана приложимостта на подобни конструкции. Идеята за използване на рояци сателити с друго основно предназначение като изнесена гама-астрономическа обсерватория е много оригинална, и сама по себе си представлява принос.

8. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Публикациите, свързани с темата на дисертацията, са 9 на брой, с което значително надхвърлят изискванията на Физическия Факултет на СУ за придобиване на степен “доктор” за 3 публикации, от които 2 в реномирани издания и поне една от тези 2 с водещ принос на докторанта. 5 от 9-те публикации са в реномирани и реферирани издания (публикация [1] е в списание с импакт фактор 0.242), а останалите 4 са доклади на конференции (вкл. един постер – публикация б) като в 8 от публикациите докторантът има водещ принос, а 3 от тях са напълно самостоятелни (и трите самостоятелни публикации са в реномирани списания). Публикациите са по темата на дисертацията и точно отразяват извършената теоретична, инженерна и експериментална работа.

9. Лично участие на докторанта

Стилът на изложение в дисертацията, както и подробното запознаване със серия теоретични и експериментални резултати в една доста голяма по обем и в същото време интердисциплинарна работа (засягаща както полеви обследвания на радионуклиди от различен характер, така и конструктивни характеристики на безпилотни летателни средства, вкл. блокови схеми на измерителни системи, материали за модифициране на отразяваща повърхност на летателни средства и др.) показват (а и не биха били възможни без) активното, а по-точно казано основно участие на докторанта Иван Илиев не само при изготвянето на самия дисертационен труд, но и в цялата професионална дейност, свързана с натрупването на материал за него.

10. Автореферат

Авторефератът в обем от 74 страници отразява коректно съдържанието на дисертационния труд, като включва основните резултати и е богато илюстриран с блокови схеми, графики на летателни планове, гама-карти, експериментални резултати и снимков материал. Авторефератът е изработен според изискванията на съответните правилници.

11. Критични забележки, въпроси и препоръки

На стр. 55 се прави следния извод: „...дори и да не познаваме математиката на SIA (алгоритъм за търсене и следене на използвания за гама-картографиране софтуер) можем да го използваме за да намерим МДА емпирично, като намерим минималната активност, забелязана в записите от данни...” Като се абстрахираме от недобре издържаната фраза „математика на алгоритъма”, би било добре все пак в работата да е включено едно по-задълбочено запознаване с аналитичните методи, стоящи в основата на използвания програмен продукт. Без съмнение това би разкрило и нови възможности за алгоритмична оптимизация на бъдещи софтуерни разработки, предназначени за оптимизираното откъм ресурси хардуерно осигуряване на борда на БЛС.

Задачите, които си е поставил докторантът при разработване на дисертационния труд, са перфектно формулирани в Глава 5 на стр. 65 и стр. 66. Би било много по-систематично и би допринесло за общата логическа структура и постановка на дисертацията, ако тези задачи, заедно с други такива „разхвърляни” в материала, бяха систематизирани и изведени в самостоятелна структурна единица – Глава от дисертацията или нещо подобно. Интересно е, че такова предварително ясно формулиране на задачите е направено в Автореферата на дисертационния труд, а в самата дисертация липсва.

Фиг. 5.5.1, описваща времевата диаграма на скоростта на броене в точките на облитане при експеримента в пространството през Физическия Факултет, се цитира много преди появата си в материала – на стр. 77, а реално заедно с другата цитирана фигура Фиг. 5.5.2 тя се появява едва на стр. 82. Очевидна от направените аналитични разсъждения в точка 5.4 е важността на данните от графиката за предварителното определяне на координатите на точката с потенциално замърсяване, което е необходимо за последващото прецизно облитане със зависване на БЛС. В такъв смисъл мястото на фигурата в т. 5.5 може би е неподходящо.

В израз (6.3.3) очевидно става дума за обратно-пропорционално отношение на времената за прелитане на видимата зона (времена за интегриране) спрямо ефективностите на два детектора, а не както се твърди за „отношение на скорости” спрямо отношение на ефективности. Разбира се от това произтича съответната пропорционалност на скоростите на прелитане по отношение на ефективностите на два детектора, но изразът от стр. 95 включва времена.

Във Фиг. 6.6.1 на стр. 103, описваща влиянието на височината на полет върху неопределеността, са показани двете основни компоненти на неопределеността – отклонение при позициониране, намаляващо с височината, и неопределеност на скоростта на броене, увеличаваща се с височината. Двете графики са представени с различен цвят, но не са реферирани и така само интуитивно може да се предположи, коя графика кой тип неопределеност представя.

И двете описани модулни системи – детекторната на стр. 69 и спектрометричната на стр. 90 са описани съвсем бегло (като блокова схема), липсват точни схеми на хардуера, описание на отделните модули (например как е реализиран предусилвателя, GPS-модула част от Arduino платката ли е и др. подобни), не е включен дори алгоритъма на работа на специализирания софтуер за Arduino платките. Тъй като това е основна част от работата, в която определено са вложени много време и усилия от страна на докторанта, считам, че едно по-детайлно изложение с включена повече конкретна информация, би допринесло съществено за дисертационния труд.

Примерното представяне на резултати от електромагнитна симулация на 3D-модел на „кръстачка”, целяща увеличаване на ефективната отразяваща повърхност (ЕОП) на БЛС, е извънредно бегло и недостатъчно според мен като информация, а самите резултати на Фиг. 7.1.1.3 на стр. 116 в Глава 7 са трудни за интерпретация (споменава

се само посоката на електричния вектор, но не става ясно как това може да помогне за изчисляването на увеличаването на ЕОП до стойностите, коментирани на стр. 117).

Фиг. 7.1.1.8 на стр. 119, показващо разпределението на ЕОП, заедно с приноса на отделните части на отразяващата повърхност (двата обекта – обект 1 и обект 2, съответно трихедралите и „кръстачката“), не е снабдена с адекватна легенда, показваща точно коя крива към кой обект се отнася. Става ясно само, кои са кривите за общия и осреднения принос. Не става ясно също така как са получени коефициентите 0.246 и 0.125, използвани в изразите за намиране на осреднената отразяваща повърхност, намиращи се в текста, непосредствено под фигурата. Защо тези изрази не са изведени като самостоятелни изрази със съответните номера в рамките на изложението?

В Глава 8, в точка 8.4.2, посветена на гама-астрономията, в малък обем текст е изложена огромен по обем информация за различни космически мисии и проекти, което ако и да е полезно като своеобразно въведение и исторически преглед към идеята за използване на малки сателити за гама-измервания, всъщност „затрупва“ читателя с информация, която не е пряко свързана с тематиката на дисертационния труд.

На стр. 154 се говори за „свободни ISM групи“ – използваният в комуникационната техника термин е „ISM обхвати“.

Имам следните въпроси към докторанта Иван Илиев:

В описаната на стр. 38 процедура на калибриране по енергия на гама-спектрометрична система се споменава възможност за използване на повече гама-линии за осъществяване на калибровка от втори ред (с полином), като само се споменава, че това би било полезно при полупроводникови детектори. Моля докторантът да внесе повече яснота, защо подобна нелинейна калибровка е необходима при използване на полупроводникови детектори.

Моля докторантът да изясни смисъла на термина „фолаут“, който споменава на стр. 50 във връзка с измерването на радиационен фон по време на полет. Терминът е споменат като компонента на фона, но не е обяснен.

Какви са ограниченията, които правят инструмента „3D Map“, част от Microsoft Excel (Фиг. 5.5.2), „неособено подходящ за картографиране“, както твърди докторантът на стр. 82 на дисертационния труд? Междувременно на стр. 99 и стр. 101 докторантът е споменал за потенциалните недостатъци на софтуера – недостатъчна разделителна способност и липса на подходящи допълнителни софтуерни инструменти за подчертаване на нужната информация. Моля докторантът да потвърди и коментира споменатите недостатъци на масово достъпния софтуер – причина за използването в експериментите на специализиран софтуер ArcMap.

Откъде следва изразът, даден с (6.3.2), за MDCS (минимална отличима скорост на броене) на стр. 95 в дискусиата за чувствителността по отделна линия спрямо фоновия шум за ^{137}Cs на спектрометричните системи?

Какъв е произходът на израз (6.6.1) на стр. 104, описващ комбинираната неопределеност (от неточност на позициониране и от статистика на броенето)? Предполагам, че произходът му е от стандартните изрази за статистическа грешка, но все пак поради спецификата на отклоненията (едното нараства с височината, а другото намалява поради падане на приноса на неточността на GPS-координатите) е редно по-точно обяснение или рефериране на формулата.

На стр. 111 и стр. 112 в Глава 6 се коментира възникването на значителна (78% !!!) статистическа неопределеност в резултатите в следствие от неточността на използвания в момента на експеримента метод на позициониране – както на

позиционната система на БЛС, така и на GPS-приемника на детекторната система. Получаването на комбинирана неопределеност от 168.7% (израз 6.8.8) компрометира приложимостта на предложената безпилотна система за гама-картографиране. Какво решение би предложил докторантът за намаляване на подобен източник на сериозна грешка и недооценяване на активността на потенциално замърсяване?

Експерименталните изследвания на ЕОП и други параметри на специално конструирани за увеличаване (или за намаляване при градиентните поглътители) на отразяващата повърхност за радари обекти в Глава 7 в рамките на работата по настоящата дисертация ли са правени, или са в резултат на предхождаща експериментална дейност, свързана с бакалавърската и магистърската теза на докторанта, за които той говори на стр. 114?

Експериментът с градиентен поглъtitел, поставен върху част от БЛС – тип „фиксирано крило“, и илюстриран на Фиг. 7.1.2.10 на стр. 130, в каква лаборатория е проведен? Липсва достатъчно информация за този, съществен за темата на дисертацията, експеримент в рамките на изложението – отделено му е съвсем малко място в края на Глава 7.

Моля докторантът да „разшифрова“ израза на стр. 136 в Глава 8, използван за оценка на необходимия брой битове за кодирането на формата за време HH:mm:ss, а именно $2 \times 3 \times 5 \times 9 \times 5 \times 9 = 12150 \approx 2^{14} = 14 \text{ bit}$. Такива изрази се наблюдават на много места в дисертацията, те не са номерирани в съответствие с приетите формати, а и приравняването на число към разделителност в брой битове не е много коректно от математическа гледна точка.

Какъв е смисълът на величината ВО (входно-изходен отстъп), която се среща на стр. 153/154 в израза за спектралната плътност на отношението носеща вълна/шум?

12. Заключение

Независимо от направените забележки трябва да се отбележи, че представеният ми за рецензиране труд е обобщение на наистина колосално количество работа, при това в разнообразни по характера си сфери и тематики. Независимо дали става дума за гама-детектори, обслужваща електроника и многоканални анализатори, обработка на експериментални данни, методи за позициониране, характеристики и подбор на БЛС или смели идеи за използване на констелации от сателити за събиране на информация за космическия гама-фон, навсякъде в тези области Иван Илиев демонстрира задълбочено познаване на тематиката и професионален подход при решаване на възникналите проблеми от научен и инженерно-технически характер. Като краен резултат имаме един полезен с приносите си за науката и практиката труд, който би революционизирал начина на провеждане на обследванията на терени за радионуклиди от всякакъв характер. 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 убедено да препоръчам на почитаемото научно жури да присъди образователната и научна степен „доктор“ на Иван Илков Илиев в професионално направление 4.1 Физически науки – Радиофизика и физическа електроника.**

12.09.2019

Рецензент:

(доц. д-р Емил Владков)