

РЕЦЕНЗИЯ

от проф. дфн Дора Вълчева Панчева

върху дисертацията на тема: "Емпирично моделиране на йоносферните характеристики над България" за присъждане на научната и образователна степен "доктор" на Румяна Цветанова Божилова по научна специалност 4.4 "Науки за Земята" (специалност "Физика на океана, атмосферата и околоземното пространство")

1. Обща характеристика и актуалност на дисертацията

Темата на дисертацията е ориентирана към физика на слънчево-земните въздействия и влияние на слънчевата активност върху процесите на йоносферата над България. Това е проблем имаш пряко отношение към така нареченото космическо време (space weather) и технологичните му аспекти, свързани най-вече с разпространение на радиовълните в йоносферата и спътниковите Global Navigation Satellite Systems (GNSS) връзки, т.е. влияние върху телекомуникациите, GNSS позициониране, синхронизиране и навигация.

Дисертацията е насочена към решаването на две задачи: (а) да се построи емпиричен модел описващ състоянието на йоносферата над България под въздействието на геомагнитни аномалии и късо-периодични (най-вече 27-дневния ротационен период и хармониките му) смущения в слънчевата радиация, и (б) да се създаде методика за кратко-срочно прогнозиране (до 3 дни напред) на йоносферните характеристики, представящи условията за разпространение на радиовълните над страната ни, при отсъствие на работеща йоносферна станция. Относно първата задача е важно е да се отбележи, че емпиричните модели, построени на базата на дълги времеви масиви от данни, обикновено представляват доста по-добре основните характеристики на йоносферата от теоретичните или параметрични модели, но зависят от начина по който е конструиран моделът (т.е. от подбора на математическите функции) и условията на външно (слънчево и геомагнитно) въздействие по време на използванятия масив от данни. Това означава, че такъв род модели представляват доста точно състоянието на йоносферата но за определена епоха на слънчевата активност. Втората задача е изключително актуална и се появя като научен проблем едва през последните 2-3 години. Следователно представената методика в тази дисертация за предсказване поведението на йоносферните критични честоти чрез GNSS измервания на тоталната електронна концентрация (TEC) е една от много малкото такива.

2. Структура на дисертационния труд

Дисертацията се състои от увод, 6 глави, заключение и формулирани основни приноси. Тя е в обем от 116 печатни страници, 65 фигури и 10 таблици. В Увода са формулирани двете основни, споменати по-горе, задачи на дисертацията. Емпиричният модел, описващ реакцията на йоносферата на слънчеви и геомагнитни смущения, е построен чрез използване измервания на критичните честоти получени от йоносферна станция KOS89/2 в София в продължение на 20 години (1995-2014 г.). От историческата справка в Глава I следва, че преди йоносферна станция KOS89/2 в София е работила и йоносферна станция IRX-59. От общи съображения при емпиричното моделиране би следвало да се използва целия масив от измервания на двете станции. Аз обаче мисля, че дисертантът е взел правилно решение като е използвал само данните от втората дигитална станция KOS89/2, защото нивото на шума в тези данни е много по-ниско от това на данните от станция IRX-59. Нивото на шума на използванието данни е определящ фактор за намиране на по-точни функционални зависимости между индексите

характеризиращи външните смущения и реакцията на йоносферните критични честоти. Методиката за кратко-срочно прогнозиране на критичните честоти на йоносферата над София, които са важни за разпространението на радиовълните ($foF2$ и $MUF3000$), е представена чрез намиране на достоверни връзки между тях и тоталната електронна концентрация (TEC) в точка най-близка до София. По този начин е представена възможност за получаване на двете най-съществени йоносферни величини $foF2$ и $MUF3000$ за територията на България, в условия на неработеща йоносферна станция, чрез налични данни за TEC, предоставени свободно от световните бази данни. Основните методи за изследване на йоносферата, нейното значение за разпространението на радио-вълните, както и исторически сведения за йоносферните изследвания в България са представени в Глава I. В Глава II са разгледани най-важните процеси водещи до образуването на йоносферата, като подробно са описани процесите на йонизация, рекомбинация и пренос на плазмата в йоносферата. В същата глава са описани още и статистическите методи, използвани в дисертацията при анализа на данните. Резултатите в следващите четири глави са оригинални и на тях ще се спра малко по-подробно.

В Глава III е представен анализа на йоносферните данни ($foF2$ и $MUF3000$) получени от полската дигитална станция KOS89/2 в рамките на почти два слънчеви цикъла (1995-2014 г.). Основната цел на този анализ е да се получи информация за функционалната зависимост между влиянието на кратко-периодичните слънчеви смущения и геомагнитните бури, представени съответно чрез техните F10.7 и Кр индекси, и йоносферните аномалии генеририани от тях. За да получи тези зависимости в по-чист вид докторантът предварително филтрира известните денонощи и сезонни вариации на йоносферата, както и влиянието на дългопериодичните изменения на слънчевата и геомагнитна активност, като използва релативни отклонения, както на критичните честоти, така и на слънчевия индекс. Общата връзка между външните смущения и реакцията на йоносферата са изследвани чрез корелационен анализ. Корелационните функции показват не само характера на връзката, т.е. дали йоносферата реагира положително или отрицателно на тези въздействия, но и какво е забавянето й спрямо изследваното въздействие. Намерена е положителна реакция на йоносферата на слънчеви късо-периодични смущения и предимно отрицателна такава на геомагнитни смущения. Положителна реакция на геомагнитни бури се наблюдава само в типичните зимни месеци декември и януари, нов резултат заслужаващ по-задълбочено изследване в бъдеще. Получените сезонни зависимости на забавяне реакцията на йоносферната са също важни тъй като те дават информация за приноса на възможните механизми обуславящи наблюдаваната реакция. За да се установи вида на функционалните зависимости между въздействието и йоносферната реакция е използван регресионен анализ, най-вече чрез представяне на груповите регресии. Сезонните зависимости на груповите регресии са получени чрез изследване на всеки месец от годината, като е направено важно разделение между дневни и нощи условия. Важно е да се отбележи, че намерените регресионни свръзки между йоносферните честоти и слънчевите и геомагнитни индекси са резултат от анализа на почти два слънчеви цикъла, т.е. това са наистина статистически представителни резултати.

Глава IV представя основния емпиричен модел на изменение на критичните честоти на йоносферата над България под въздействието на късо-периодични слънчеви и геомагнитни смущения. Важно е да се отбележи, че йоносферните аномалии, предизвикани от горе споменатите външни въздействия, се наслагват на основата на спокойна йоносфера, включваща регулярен денонощен и сезонен ход, както и влиянието на ~11-годишния слънчев цикъл. Следователно, представеният емпиричен модел се състои от два модела: модел за прогнозиране на медианите на часовите стойности и модел за прогнозиране на релативното отклонение на критичните честоти, представлящ йоносферните аномалии. Моделът на

йоносферните аномалии зависи от универсалното време (UT), както и от външното въздействие, чийто функционални зависимости са намерени в Глава III. Зависимостта от UT е представена в ред на Фурье, като са включени 4 хармоники на денонощното време, докато зависимостите от слънчевите и геомагнитни смущения съответно от полиноми от втора и трета степен, като са отчетени съответните забавяния на реакцията на йоносферата, както и нейната инертност. Точността на математическата конструкция на модела е изследвана чрез систематичната и средно квадратична грешки. Важно е да се подчертвае, че систематичната грешка е почти нула, което показва, че моделът няма склонност да подценява или надценява йоносферната реакция. За да се докаже ефикасността на представения модел са прогнозирани критичните честоти на три силни геомагнитни бури и са оценени чрез двата вида грешки. При всички разгледани бури грешките са достатъчно малки, което доказва, че моделът е подходящ за целите на радио-прогнозирането.

Методиката за кратко-срочно прогнозиране на йоносферните критични честоти над София чрез измервания на TEC в близка до София точка е представена в Глава V. В дисертация са използвани TEC данните от Center for Orbit Determination of Europe (CODE), които се предоставят в географска мрежа със стъпка 2.5° по ширина и 5° по дължина е избрана най-близката до координатите на София точка, а именно (42.5°N , 25°E). Методиката представлява всъщност регресионен модел представлящ най-вече денонощните и сезонни зависимости на критичните честоти на йоносферата от TEC. Този регресионен модел е получен от анализа на малко по-къс времеви масив от данни, 1999-2014 г., но е също статистически представителен и поради следния допълнителен факт. Съществуват множество изследвания, които ясно показват, че TEC в типично средни ширини, каквато е територията на България, се формира предимно от електронната концентрация в тясна област около максимума на F областта, като при ниска и средна слънчева активност връзката е почти линейна, докато при висока слънчева активност, поради различната степен на 'хистерезис' в foF2 и в TEC, връзката е параболична. И в двата случая обаче връзката между foF2 и TEC в средни ширини е силна и стабилна във времето. Оценена е точността на регресионния модел и е приложен за прогнозиране на критичните честоти чрез TEC при четири геомагнитни бури, като е демонстрирано, че е подходящ за целите на радио-прогнозирането.

В Глава VI е представена задачата за изчисляване на радио-трасета, която е свързана с определяне на допустимия диапазон от честоти, на които може да се осъществи радиовръзка при зададено разстояние между предавател и приемник или на техните координати. След описание на теоретичния подход за изчисляване на електронния профил и моделната му йонограма при вертикално разпространение на радио-вълните се изчисляват моделните наклонени йонограми при зададена дистанция на радиовръзката. Представени са резултатите за минимални и максимални приложими честоти при няколко различни разстояния между предавател и приемник.

Решените задачи, въз основа на които дисертантът е формулирал основните си приноси, са представени в Заключението.

Накрая бих желала да обърна внимание и на доброто познаване на литературата свързана с емпиричното моделиране, демонстрирано в обзора (Глава IV). Дисертантът е използвал 72 източника от български и международни автори свързани със създаването на глобални, регионални и едноточкови модели.

3. Основни научни и научно-приложни приноси:

(а) Чрез корелационен и регресионен анализ на дълги времеви редове от йоносферни данни са изследвани денонощните и сезонни закономерности в реакцията на йоносферата над България

на геомагнитни аномалии и късо-периодични слънчеви смущения. Установена е положителна реакция на късо-периодичните слънчеви смущения и предимно отрицателна такава (с изключение на типичните зимни месеци декември и януари) на геомагнитните аномалии. Особено важни са и резултатите за сезонните вариации на времевите константи, описващи изоставащата реакция на йоносферата от външните смущения, които предоставят важна информация за физическите процеси участващи във формирането на йоносферната реакция. Това е съществен нов научен принос.

(б) За пръв път е създаден емпиричен модел описващ реакцията на йоносферните критични честоти ($foF2$ и $MUF3000$) над България вследствие на геомагнитни и късо-периодични слънчеви смущения. Този модел дава възможност да се изчислят критичните честоти над България за всеки конкретен час от дадено деновонощие при наличие на измерени стойности през изминалите 15 деновонощия и данни за индексите на слънчева и геомагнитна активност. Този модел е предназначен както за научни изследвания, така и за кратко-срочно прогнозиране, т.е. може да се квалифицира като научен и научно-приложен принос.

(в) За пръв път е представена методика за изчисляване на критичните честоти на йоносферата над София от данни за TEC в най-близка до София точка. Този модел вече е внедрен на уеб страницата на НИГГ и временно предоставя кратко-срочни прогнози за йоносферните критични честоти предимно на Министерството на От branата, както и на всички ползватели, интересуващи се от условията за разпространение на радиовълните в йоносферата. Този резултат също може да се причисли към научните и научно-приложни приноси.

(г) Описан е метод за изчисляване на конкретни радиотрасета на базата на прогнозните стойности на критичните честоти. Този метод използва известен модел на профила на електронната концентрация, този на Ди Джовани-Радичела, и основните закономерности на отражението на радиовълните от йоносферата. Важно е да се отбележи, че методът ощеествява напълно автоматизирано прогнозиране на радиотрасета за йонсферна радиовръзка и вече работи на уеб страницата на НИГГ. Този резултат има научно-приложен принос.

4. Някои препоръки към докторанта

Искам категорично да заявя, че нямам съществени забележки към структурата и цялостното оформяне на дисертационния труд. Той е логически построен и с ясно формулирани задачи, методи за решаването им и накрая получени резултати с оценена практическа значимост. Може би в бъдещите си изследвания дисертантът е добре да има предвид следните препоръки:

- При работа с групови регресии е добре да бъдат използвани по-къси интервали за да има повече средни точки въз основа на които по-точно да се намери функционалната зависимост. Тази препоръка е особено валидна за Фиг. III.1.
- При груповите регресии функционалните зависимости се изчисляват от намерените средни точки. На всички регресионни фигури в дисертацията са представени стандартните отклонения на критичните честоти във всеки интервал като грешка на средната намерена такава честота. Трябва да се има пред вид, че стандартното отклонение дефинира средната грешка на отделните измервания в разглеждания интервал, докато грешката на средната стойност се получава като се раздели стандартното отклонение на корен квадратен от броя на критичните честоти в този интервал.

- Би било добре в бъдеще при намиране на регресионни функционални връзки да се изчисли и точността на тези регресии.
- Предложените в дисертацията основен емпиричен модел за кратко-срочно прогнозиране на критичните честоти над София и методиката за кратко-срочно прогнозиране на тези честоти чрез измервания на TEC не са независими. Необходимо е методиката да бъде инкорпорирана в основния модел, като по този начин ще се прогнозират критичните честоти при отсъствие на йоносферна станция. Пожелавам на докторанта и съавтора ѝ по-бързо да завършат създаването на този модел, който ще бъде един от първите, работещи с данни на TEC модели, и предназначен за прогнозиране на foF2 и MUF3000. Имайки пред вид гъстата мрежа от GNSS приемници такъв тип модели в бъдеще могат да се използват и за предсказване на мезо-мащабни процеси с по-малки от 1 час времеви мащаби.

5. Заключение

Авторефератът адекватно представя съдържанието на дисертацията, акцентирайки на всички по-важни резултати. Приносите на автора са много добре дефинирани и обобщават получените оригинални резултати.

По темата на дисертацията са представени 3 публикации в нереферирани списания с научно рецензиране, чито общ брой точки е 30, което отговаря на изискванията от Закона за развитие на академичния състав в република България (ЗРАСРБ). Докторантът удовлетворява и минималните изисквания за страната според ЗРАСРБ. Има общо **256 кредити** при изискан минимум от 200 такива.

Като обобщение искам да подчертая, че дисертацията отговаря във всяко отношение на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в република България, както и на Правилника за прилагането му в Националния институт по геофизика, геодезия и география. Като добавим и това, че кандидатът удовлетворява и даже надвишава научно-метричните критерии и изисквания, то всичко това ми дава основание убедено да препоръчам на уважаемите членове на Научното Жури да присъди **научната и образователна степен "доктор"** на **Румяна Цветанова Божилова** по научна специалност 4.4 "Науки за Земята" (специалност "Физика на океана, атмосферата и околноземното пространство").

12 април 2021 г.

Рецензент:

(проф. дрн Дора Панчева)