

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
Институт по математика и информатика

Георги Христов Добринков

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация

**Информационни системи и методи за адаптиране на
горивни модели при симулиране на развитие на горски
пожари**

за присъждане на образователна и научна степен "доктор"

област на висше образование 4 Природни науки,
математика и информатика, професионално направление
4.6 Информатика и компютърни науки,
научна специалност „Информатика”

Научни ръководители:

проф. д-р Петър Бойваленков

Научен консултант:

доц. д-р Лиан Неделчев

София

2017

Дисертацията е обсъдена и допусната до защита на заседание на звено, назначено от директора на ИМИ-БАН със заповед/.....2017г., състояло се на2017 г.

Дисертационният труд съдържа увод, четири основни глави, приноси, публикации, списък с използвана литература със 110 заглавия. С общ обем 130 страници, 28 фигури и 13 таблици.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на.....
от.....часа в зала.....на ИМИ-БАН на открито заседание на научно жури в състав:

.....
.....
.....
.....
.....

Материалите за защитата са на разположение на интересуващите се в Библиотеката на ИМИ-БАН и на Интернет страницата на ИМИ-БАН.

Автор: Георги Христов Добринков

Заглавие: Информационни системи и методи за адаптиране на горивни модели при симулиране на развитие на горски пожари

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Актуалност на проблема

Горските и полските пожари са проблем за страните от ЕС, разположени в южната част на Европа. Статистики с данни за тези пожари през последните 35 години се публикуват в специализирани доклади, в които центровете JRC (Joint Research Centers), като част от дирекциите на ЕК, правят анализите си. JRC центровете имат за цел да следят състоянието на горите [1] и другите природни и материални ресурси важни за развитието на икономиката в ЕС по държави. Основният център, където е разположена системата EFFIS (European Forest Fire Information System), се намира в района на Испра, Италия. Тази система събира и обобщава данни за горските пожари от всички страни на ЕС и предоставя обработена информация от сателитни наблюдения, и доклади на министерствата на земеделието и горите за засегнатите райони, относно площите и броя на възникналите пожари. Предполага се, че едни от основните причини за случващите се пожари са промените в климата. България е включена в мониторинговата система на EFFIS след влизането ѝ в ЕС през януари 2007г. Преди това собствени изследвания прави министерството на земеделието, горите и храните за територията на България и нарастващия брой горски пожари след 1995 г. [2, 3].

В световен мащаб изследванията за мониторинг и симулиране на развитието на горски и полски пожари започват първо в САЩ. Организацията, която е основоположник и пионер в областта на т. нар. „Програма за мониторинг на пожари, горивни модели и дим” (Fire, Fuel, and Smoke Science Program (FFS)) се нарича USDA (United States Department of Agriculture). Тази научно-изследователска програма е една от осемте създадени на територията на Скалистите планини и обхваща цялата територия на САЩ, що се отнася до горски и полски пожари. Лабораторията, която води изследванията и определя направлението за работа на останалите изследователски центрове, работещи в това направление за различните щати в САЩ, е ситуирана в град Missoula щата Монтана в САЩ (Missoula Fire Sciences Laboratory - Rocky Mountain Research Station). Тяхната научно-изследователска дейност започва в началото на миналия век и има за цел създаване на американска национална харта за провеждане на фундаментални и приложни

изследвания, свързани с процесите на поява и развитие на пожар в дивата природа. Акцентират върху земни и атмосферни последици от пожара, както и екологичните аномалии и последващото възстановяване на природата след пожара. Освен това програмата разработва асоциирани инструменти и приложения за учени и лесовъди. Лабораторията към днешна дата има обособени следните шест направления, всички свързани с горските пожари и последиците от тях: Физични процеси при пожарите (Physical Fire Processes), Динамика на горими материали (Fuel Dynamics), Емисии на дим и разпространението му (Smoke Emissions & Dispersion), Екология при пожари (Fire Ecology), Стратегии при справяне с пожарите и горимите материали (Fire & Fuel Management Strategies), Научно-публикационна дейност в областта на горските пожари (Science Synthesis & Delivery). Основоположник на този тип моделиране и създател на полупемпиричния модел за описание на поведението на горски пожар е Ричард Ротермел [4]. Той се счита за теоретика, дал основа за направата на днешните компютърно базирани инструменти изчисляващи развитието на горски пожари. Негов е първият работещ модел, описващ пожар, развиващ се в близост до земната повърхност (т. нар. „низов пожар“) през 1972 г. Впоследствие той прави редица подобрения на теорията си.

В началото на 80-те години на миналия век, М. Гришин от Университета в Томск, Русия, предлага свой математически модел [5], принципно различен от представения от Ротермел. Този модел използва данни за типовете горящи материали в тайгата, а това са предимно иглолистни дървесни видове, с основен интензитет на горене в короната на дърветата.

През 80-те години опити за моделиране на горски и полски пожари правят в лаборатории в Сидни, Австралия, но техните модели не добиват популярност. В наши дни лабораториите, занимаващи се с такъв тип моделиране, са много повече и се намират из целия свят, като най-известните са в САЩ (гр. Missoula), Португалия (гр. Коимбра), Русия (гр. Томск), Франция (о-в Корсика) и Австралия (гр. Сидни).

Развитието на съвременните информационни и комуникационни средства позволява прилагането на най-модерни технологии за решаването на проблеми, свързани с опазването на горските и полските масиви от пожари. Използването на такива средства позволява не само ранното откриване на възникналите пожари, но и предсказването на динамиката и разпространението на пожара, както и мащабите на възможните поражения.

Като основни типове пожари, известни на базата на изследванията на водещите лаборатории в областта, са видовете пожари, класифицирани по следния начин: тип 1 - нивови пожари (surface fires [4, 6]); тип 2 - върхови пожари (crown fires [5, 7]); тип 3 - пожари, появяващи се на няколко огнища (spotting fires); тип 4 - пожари, ускоряващи горенето си (fire acceleration).

В дисертационната работа се разглеждат проблеми, свързани с моделирането на биологичните видове, горящи по време на пожар трансформирани в горивни модели за целите на симулациите от първия тип, а именно пожари, развиващи се на повърхността (низови пожари). Методиката за работа с т. нар. горивни модели в дисертационната работа е базирана върху обработка на данни събирани от лесоустройствени планове за държавно горско стопанство (ДГС) „Златоград“. Биологичните видове за територията са обработени така, че да се получат максимално приложими горивни модели или както са известни в литературата „горивни модели за описание на горски пожар (Fire Behavior Fuel Models)“. Представени са и симулации на развитието на горски пожар за съответните зони в ДГС „Златоград“, чрез получените горивни модели, като целта е постигане на максимално реалистична стойност на изгорелите площи според справките и калибрирането с пожари за минали години.

Цели и задачи

Основните цели на дисертационната работа са:

Изучаване и анализ на горивни модели според установените най-добри световни практики (класификации на Anderson и на Scott-Burgan) [8,9], адаптация на горивни модели (пилотен проект) чрез симулации (калибриране) на резултатите, предложение за прилагане на адаптираните горивни модели и последващи техни аналози в симулации.

Поставените цели са постигнати чрез последователно изпълнение на следните задачи:

1. Анализ на съществуващите до момента в България горивни модели при симулации с модела WRF-Fire (S-Fire);

2. Описание на свойствата на горивните модели според общите класове на Anderson (13 classes), Scott-Burgan (40 classes). Предложение за алгоритъм, който определя custom fuel models калибрайки горивен модел от основните 53 и с приложение за територията на ДГС Златоград;

3. Обработване на карти от лесоустройствения план на ДГС Златоград с ГИС-инструменти, така че да се създадът необходимите файлове за симулации с модела FARSITE;

4. Анализ и изготвяне на предложения за подобрене на концепцията на ИАГ (Изпълнителната Агенция за Горите) “Единна автоматизирана система за наблюдение и откриване на горски пожари в горските територии” по подобие на действащата в САЩ WFDSS (Wild Fire Decision Support System), така че да се включат и използват симулации, оттам и потенциални сценарии на развитие на горски или полски пожар след тяхното локализиране.

II. ОБЕМ И СТРУКТУРА

Дисертационният труд съдържа увод, четири основни глави, приноси, публикации, списък с използвана литература, която включва 110 източника. Обемът на дисертационния труд е 130 страници, съдържа 28 фигури и 13 таблици.

III. СЪДЪРЖАНИЕ

Дисертационният труд се състои от увод, четири глави, заключение, списък с използвана литература и приложения.

В увода е описана общата концепция на научното изследване. В него са обосновани актуалността на темата и нейната значимост. Формулирани са проблемните въпроси, целта, поставените задачи на труда, дефинирана е изследователската теза. Изложени са основните подходи и методи, прилагани в хода на изследването, както и постигнатите изводи от него.

Глава 1. Горски и полски пожари, обща характеристика на параметрите използвани при компютърни симулации за определяне на поведението и разпространението им

В първа глава е извършен анализ на видовете горски пожари и на съществуващите до сега методи за моделиране при низовия тип пожари. Представен е и кратък обзор на класификацията на Съливан [10-12]. Описан е накратко математическият модел на Ротермел, за низов тип

пожари. Представени са описателно стандартните горивни модели според вида растителност използвани на територията на САЩ при симулации на горски пожари. Описани са подробно разработката на Джо Скот и Робърт Бърган [9] както и първоначалните модели от 1982, разработени от Андерсън [8]. В глава първа е представена информацията за наличните модели, като е базирана на литературни източници. Така са въведени основните параметри, необходими при симулация на горски пожар, свързани с растителността, която би горяла. На тази база е поставена основата за разработката на настоящият труд, за калибриране и стандартизиране на горивни модели от основните познати към такива за български условия.

Основни изводи към глава 1:

1) Изследователската дейност в областта на моделирането при горски пожари се развива съществено през годините след 1990-а. Това се дължи на бума при развитието на компютрите и компютърните технологии, както и по-лесния достъп на изследователите до суперкомпютри.

2) Въз основа на направения обзор от Съливан [10-12], както и от анализа на информационните бюлетини на международната асоциация на горските пожари "International Association of Wildland Fires (IAWF)", може да се направи заключението, че промените на климата играят основна роля при определяне на пожароопасните зони в световен мащаб.

3) Значително нараства използването на методи за компютърно симулиране на разпространението на горски пожар, при постоянно подаване на метеорологични данни за различни сценарии, при някои от които човешки животи са застрашени в близост до горящите площи.

4) В резултат от анализа, извършен в литературния обзор, методите могат да се класифицират като: 1) симулиране на горски пожари с цел изучаване на физико-химичните реакции по време на горенето, 2) математически дефинирани процеси или емпирични методи, описващи разпространението на пожара, които са съчетани с други подходи, за да дават близки до реалността резултати. Вторите методи са по-доходящи за ежедневната работа на пожарните екипи.

5) Въз основа на направения преглед, за целите на настоящия труд се работи върху низовия тип пожари, като се съчетава с работа по горими материали базирани на моделите и описаните параметри от 53-те известни модела.

Глава 2. Сравнение на моделите WRF-Fire (WRF-SFIRE), FARSITE, BehavePlus и потенциала им за приложение в български условия

Във втора глава е представен сравнителен анализ между трите модела за симулиране развитието на горски и полски пожари - WRF-Fire (WRF-SFIRE), FARSITE и BehavePlus. За целите на дисертационния труд са сравнени предимствата и недостатъците на трите модела (таблица 1). Представени са изискванията на всеки от моделите за входни параметри и очакваните резултати след изчисления със съответния модел.

Таблица 1: Сравнителен анализ показващ предимствата и недостатъците между разгледаните три модела ползвани за симулации на български горски пожари

Модел	Предимства	Недостатъци
WRF-Fire	Работи с много точни метеорологични данни и дава развитие на пожара според много близки до реалните условия на вятъра и другите метео параметри	Недостатъци на модела са, че работи само с 13-те модела за описание на горивни модели, без опция за специализиране или добавяне на новите 40 модела от 2005г.. За да има бърза обработка на данните модела работи само паралелно на Unix базирани машини, което е неприложимо за масови потребители.
BehavePlus	Работи с всички налични модели за горими материали и дава възможност за изчисление на параметри като “1-ч. просушеност на мъртви горива” и “относителна влажност”. Не изисква суперкомпютър за паралелни пресмятания, достатъчно е и наличието на по-мощни компютърни конфигурации.	Голям недостатък е крайния резултат от модела, който е приблизително изгоряла площ в метрична или фут базирана системи, но без да имаме пространствено контура на изгорялата площ, която да даде посока на развитие на пожара. Крайните резултати са диаграми с линейно представяне на развитието на пожар.
FARSITE	Работи с всички налични модели за горими материали и дава възможност за добавяне на специализирани	Изисква много входни данни за релефа, метеорологията и ГИС обработка на параметрите преди инициализация на същинската

	горивни модели. Дава като краен резултат изгоряла площ като контур, който може да бъде наложен върху земната повърхност и да ориентира екипите на терен за потенциалното развитие на пожара. Не изисква супер-компютър за паралелни пресмя-тания, достатъчно е и наличието на по-мощни компютърни конфигурации.	симулация.
--	---	------------

От таблица 1 се вижда, че най-подходящ за работа за български условия модел е FARSITE, с който са постигнати основните резултати в дисертационния труд.

Основни изводи към глава 2:

1) В случаите на симулации с WRF-SFIRE приложимите 14 горивни модела, дават резултат използвайки Корин сателитните апроксимации, но за моделиране с FARSITE е необходимо повече информация, която е налична в лесоустройствените планове на държавните горски стопанства след подходяща обработка.

2) FARSITE дава обобщена метеорологична обстановка, затова се въвеждат до 5 входни файла според наличните метеорологични данни и тяхната стъпка на обновяване.

3) BEHAVEPlus е удобен инструмент, който представя резултатите си в двумерна форма и може да бъде ползван за подпомагане на симулации с липсващи входни данни от FARSITE.

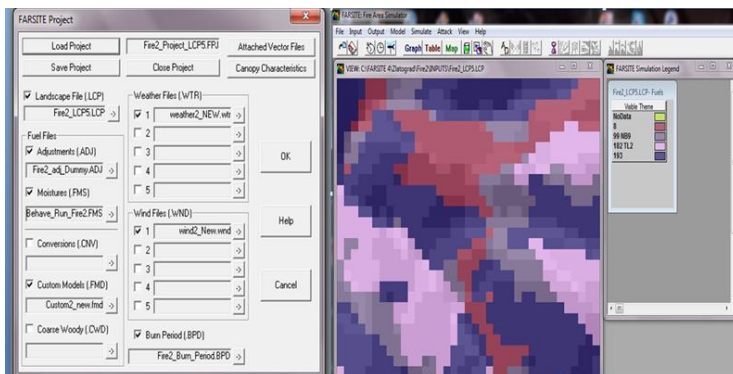
4) Адаптирането на 13-те и 40-те горивни модела спрямо българските условия изисква наличие на база от данни както сателитни от Корин, така и от лесоустройствени планове за територията от интерес за симулации.

Глава 3. Симулации с FARSITE за територията на ДГС „Златоград“

В трета глава е представен метода на работа с модела FARSITE. Описани са подробно всички входни данни за симулациите с модела и

тяхната обработка. На фигура 1 е представен пример за начален екран и получен резултат след симулация с FARSITE системата:

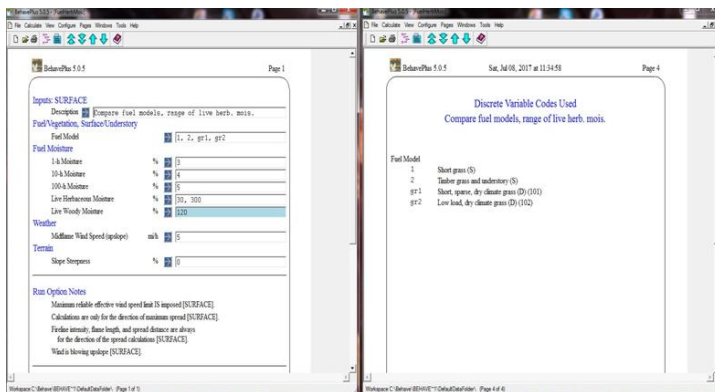
Фигура 1: Начален екран(отляво) и прозорец с резултат от изпълнена симулация (отдясно) на FARSITE



Представена е тестовата зона, от където са взети данни за биологичните видове и начина им на въвеждане като параметри за горивен модел. Направен е обобщен анализ за използваните горивни модели.

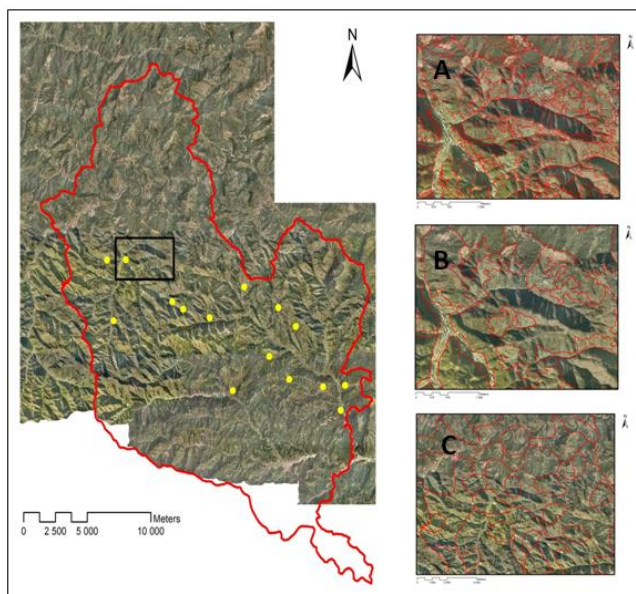
Първата стъпка в подготовката на данните за провеждане на пространствени анализи за разпространението на горски пожари е определянето на подходящи горивни модели за местата с пожари в тестовата зона на Златорад. Това е направено чрез използване на BehavePlus [13].

Фигура 2: Начален екран(отляво) и прозорец в режим на изчисление(отдясно) на BehavePlus



На фигура 2 е представен пример за начален екран и входни данни към системата BehavePlus. Тя представлява двумерна система за предвиждане на разпространението на горски пожар. Тази система се използва за анализ на нарастването на пожара и разпространението му при хомогенна растителност и статични метеорологични данни. Крайните резултати от изчисления с тази програма дават приблизително изгоряла площ като точки от земната повърхност, които могат да ориентират потребителя за развитието на фронта на пожара. Реалистичните симулации с контури се изчисляват от FARSITE пространствено с т. нар. „шейп“ файлове. Използвайки подходящи горивни модели, разработени за САЩ [8, 9], бяха оценени кои данни биха дали най-добри прогнози при разпространението и нарастването на горски пожари в BehavePlus за зоната на ДГС „Златоград“. Крайният резултат беше сравнен с наблюдаваните при всеки от петнадесетте избрани тестови пожара в ДГС Златоград реално изгорели площи.

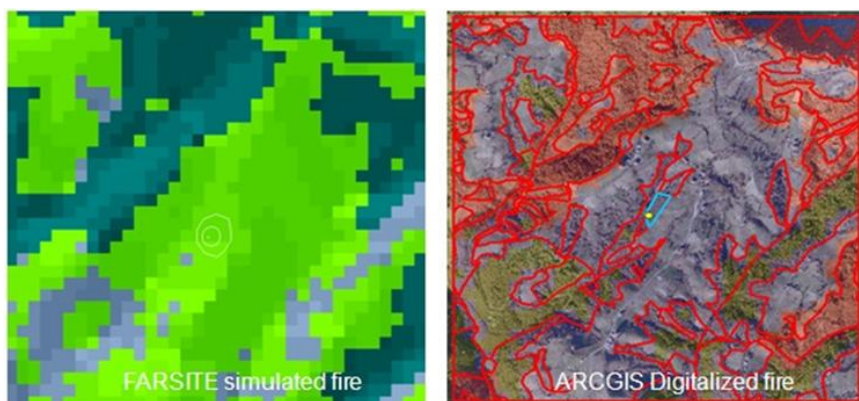
Фигура 3: Местоположение на петнадесетте пожара (жълти точки) в района на Златоград, които са се настъпили през 2011-2012г. , използвани за разработване на методология за анализ на поведението на пожара. Трите добавени отдясно карти се показва: А) Полигони за горите – Златоград; В) Полигони за земно покритие Corine; и С) Полигони на карта за растителността на Бондев (единствената класификация в България на биологичните видове от 1991г.)



В допълнение към горивния модел, BehavePlus изисква входящи данни за метеорология, просушеност на горимите материали, наклон и продължителност на пожара. Метеорологичните данни за всеки пожар бяха получени от TV Met, частна компания в България, която предостави предварително обработени изчислени стойности за метеорологичната обстановка в зоната на пожарите, като сухотата на мъртвия горим материал беше изчислена с BehavePlus. Поради недостига на наличните данни за метеорологията за разглежданата зона, трябваше да се приеме, че метеорологичните данни, записани от най-близката до всеки отделен пожар, метеорологична станция са в съответствие с метеорологията, която е влияела върху разпространението на пожара. Изчисленията върху стойностите на влажността на зелените тревисти и дървесни горими материали бяха базирани на очакваните стойности (на теорията според климатичните характеристики) за времето за този период от годината, когато пожара е възникнал. За изчисление на наклона беше използван цифров височинен модел (digital elevation model - DEM) с размер на клетката 30 x 30 метра от Националния Институт по Геофизика, Геодезия и География в България, след това беше изчислен средният наклон за всеки пожар, използвайки стандартна геопространствена обработка в ArcGIS (ESRI 2010). Всички параметри от наличния DEM са изрязани посредством програмен код с цел избягване размествания на зоните на симулация при релефа докато се калибрират параметрите на горивните модели. Продължителността на горене на всеки пожар беше взета от данните от горско стопанство Златоград. Въз основа на първоначалните резултати от BehavePlus, използвайки стандартни горивни модели, бяха разработени специализирани (custom fuel models) модели за някои видове растителност, които не са приложими директно от американските горивни модели. Специализирани горивни модели бяха разработени за местния европейски дъб и тревни площи, както и за едно от местата с бял бор, чрез модифициране на параметрите за количество на горимия материал, за да съответстват по-добре на местната растителност и да отразяват липсата на дървесни остатъци в частта от гората, включваща растителността между земята и короната на дърветата, тъй като се събират като дърва за огрев от местното население. Основната разлика на горивните модели, които са утвърдени в класификации за САЩ и специализираните горивни модели за България е, че тревните площи в САЩ са пасища само в обозначените зони, докато в България няма такава регулация, особено за горския фонд. Дървесните отпадъци, като паднали дървета и клони в САЩ рядко биват събирани от местните за огрев или други цели, докато в България това е

практика. Ето защо количествата натрупан биологичен материал, като параметри в горивните модели, за привидно идентични случаи, трябваше да бъдат адаптирани за българската територия. Специализираният горивен модел, разработен за трева има много по-ниска степен на разпространение и дължина на пламъка в сравнение, с този който е дефиниран като стандартен горивен модел от известните 53 модела, поради по-малко наличен материал. Следвайки оценката на горивните модели с BehavePlus, бяха извършени анализи с FARSITE, пространствената система за нарастване на пожар, която включва модели за разпространение на пожар с пакет от пространствени данни и метеорология в табличен вид, данните за вятъра и влажността на горимия материал.

Фигура 4: Пример на симулация със специализиран горивен модел (в ляво е симулирания резултат, а в дясно реално изгоряла площ).



Представените резултати на фигура 4 са с различни контури, поради факта че FARSITE е система, в която не може да бъде отчетена дейността по погасяване на пожар. Изгорелите площи от симулациите представляват потенциално изгорелите площи при никаква намеса на хора.

FARSITE има способността да проектира нарастването и разпространението на пожара през терена и да получава като краен резултат контур на потенциално изгоряла площ. Това е ценно при прогнозиране развитието на горски или полски пожар за екипите на терен.

За целите на дисертационния труд бяха дефинирани тестови терени, използвайки 500 метрова буферна зона около всеки от петнадесетте пожара в района на Златоград, за да се обхване зоната на пространствените анализи за всеки отделен горски пожар. Входните данни за FARSITE се

състоят от пространствена топография, растителност и параметри на горимите материали компилирани в многослоен „landscape file” (теренен файл) формат. Топографските данни, които се изискват за изпълнение на FARSITE включват височина, наклон и изложение. Използвайки гореспоменатият 30 метров цифров височинен модел, изчислихме аспектен слой (aspect layer) и след това бяха изрязани растери за височина, изложение и наклон до размера на петнадесетте тестови терена. Необходимите данни за растителността включват горивен модел и гъстота на гората (canopy cover). Горивните модели в рамките на 500 метровата буферна зона за анализ за всеки отделен пожар са определени въз основа на анализите от BehavePlus; разпределението на горивните модели беше свързано с доминиращата растителност за всеки полигон, определена въз основа на данните за растителността от Горско стопанство Златоград. Стойностите за гъстотата на гората, бяха визуално определени въз основа на ортофотото изображения и проверени със стойностите на данните за стъблата на дърветата от лесоустройствените планове на Горско стопанство Златоград. Допълнителни променливи за короната на дърветата (височина на основата, плътност на дървесните отпадъците и височина на короната на дърветата), които би могло да бъдат включени в landscape файла, са пропуснати, тъй като тези променливи са от по съществено значение за изчисляването на разпространението на върхов пожар или евентуалното преминаване на нивов във върхов пожар. Нито един от анализирания петнадесет пожара не е преминал във върхов пожар. Всички симулирани пожари са нивови. Табличните файлове за времето и вятъра за FARSITE бяха съставени използвайки данните за времето и вятъра от TV Met, българска метеорологична компания, предоставила данните в часови записи и необходимия формат за симулации. Табличните файлове за влажност на горимите материали от 1-часов тип, бяха създадени, използвайки BehavePlus симулации за прецизиране на стойностите за влажността на сухите горими материали (влагата в тревата, храстите и малките клони, които са на земята от предишни сезони или са били отсечени).

Десетчасовите стойности за сухота на горимите материали бяха изчислени чрез добавяне на 1 процент към едночасовите стойности на просушеност на горимите материали.

Сточасовите стойности бяха адаптирани аналогично, чрез добавяне на 3 процента към едночасовите стойности на просушеност на горивото. Това се наложи следвайки логиката на параметрите от метеорологичните данни получени за зоната. Стойностите на влажността за живите(зелени) горими

материали (съдържанието на влагата в тревата, храстите и дърветата, които са живи през настоящия сезон) бяха предварително изчислени чрез BehavePlus за анализите на FARSITE. Всички симулации, изпълнени във FARSITE използват метрични стойности на данните на входа и изхода на програмата. Не беше използвана коригираща стойност за промяна на скоростта на разпространение за стандартните горивни модели, а бяха създадени специализирани горивни модели. Опциите на софтуера за отчитане на върхов пожар, искри от горящи дървета и нарастване от точковидни пожари не бяха активирани.

Данните в така получените приближения за адаптирани и специализирани горивни модели могат да бъдат обобщени по следния начин:

1. В случаите на Бял бор (*Pinus sylvestris*) най-доброто приближение от наличните модели от тринадесетте на Андерсън [8] и четиридесетте на Скот-Бърган [9] са 188 и модифицираният 183 (тези класове идват от класификацията през 2005г.).
2. В случаите на Черен бор/ Акация (*Pinus Nigra/Acacia*) най-доброто приближение от наличните модели от тринадесетте на Андерсън [8] и четиридесетте на Скот-Бърган [9] са 161 183 с модификация (тези класове идват от класификацията през 2005г.).
3. В случаите на Бук (*Fagus sylvatica*) най-доброто приближение от наличните модели от тринадесетте на Андерсън [8] и четиридесетте на Скот-Бърган [9] са 182/186 извън пожароопасния сезон и 161 в пожароопасния сезон (тези класове идват от класификацията през 2005г.).
4. В случаите на Европейски дъб (*Quercus dalechampii*) най-доброто приближение от наличните модели от тринадесетте на Андерсън [8] и четиридесетте на Скот-Бърган [9] са 182/186 извън пожароопасния сезон и 161 в пожароопасния сезон (тези класове идват от класификацията през 2005г.).
5. В случаите на пасище най-доброто приближение от наличните модели от тринадесетте на Андерсън [8] и четиридесетте на Скот-Бърган [9] са 101 в случаи на опасно пасище, 102 в случаи на неопасно пасище и собствени МГМРГП с по ниска степен на разпространение и количество на горимият материал от 101(тези класове идват от класификацията през 2005г.).

6. В редки случаи и наличните тринадесет модела от класификацията извършена от Андерсън през 1982г. се наблюдава като добро съвпадение, но разпространението на изпълнените симулации се случва по-бързо от очакваното и реално случилото се.

Получените резултати от анализа на приложимите горивни модели за български условия и адаптирани такива са важни за бъдещи симулационни дейности с горими материали на територията на България поради факта че единствената известна класификация до момента е на Бондев от 1991 г. (получена от справочник за биологичното разнообразие в България), но тя е определена на база биологични видове, а не според горивни модели приложими за симулации на развитието на горски или полски пожари.

Основни изводи към глава 3:

- 1) Успешно беше дефинирана методика за събиране на необходимите данни и пълни анализи за симулации на развитието на горски и полски пожари, използвайки BehavePlus и FARSITE.

- 2) Разработена беше методология за работа с горивни модели както от известните класификации на Андерсон и Скот-Бърган, така и чрез прилагане на специализирани горивни модели според наличните стойности за натрупан биологичен материал.

- 3) Успешно бяха събрани входни данни за място (ДГС “Златоград”), където източниците на данни са оскъдни (предимно хартиени карти и почти никакви ГИС слоеве за земната повърхност).

- 4) Успешно бяха приложени и двете системи за моделиране BehavePlus и FARSITE извън средата, в която са разработени (територията на САЩ) като бяха изцяло настроени да работят в метрична система.

- 5) Разработена беше методология за бъдеща употреба на BehavePlus и FARSITE за горски пожари в България.

Глава 4. Архитектура на информационна система за симулиране на развитието на горски и полски пожари при зададени координати

Четвърта глава разглежда проекта на Изпълнителната агенция по горите от 23 март 2011г., за изграждане на т. нар. **единна система за наблюдение и автоматично откриване на пожари**. Проекта на системата

е базиран на термовизионни кули за откриване на пожар и спира до момента, в който в оперативна зала е изпратена информация за координатите на стартиращ пожар (даден е пример със системата FireWatch). В глава четири също така е описан пример на работеща система в САЩ, която по зададени координати може да изчислява развитието на пожари. Това е системата WFDSS (Wild Fire Decision Support System). За завършек на тази глава има описание на потенциално приложима за български условия уеб-базирана система с характеристики и от двете описани работещи системи посочени за примери.

Представените системи FireWatch и WFDSS са едни добри практики в световен мащаб даващи:

а) В първия случай, работещ метод за автоматизирано следене на появата на горски или полски пожар чрез системи с наблюдателни кули и специализирани камери;

б) Във втория случай представлява мощен инструмент за вземане на решения и разположение на екипи на терен за потушаване на пожар от вече получени координати за стартиращ пожар.

Тези две системи могат да бъдат приложени и за българската територия, ако бъдат обединени като единна система, която да обединява, както FireWatch подаваща данни за координатите на стартиращ пожар, така и WFDSS като инструмент за симулиране развитието и разпространението на горски или полски пожар. Така борбата за преодоляване на бедствените ситуации/ кризи може да започне във възможно най-ранна фаза, използвайки всички технологични методи за управление и гъвкавото им приложение при резките изменения на обстановката.

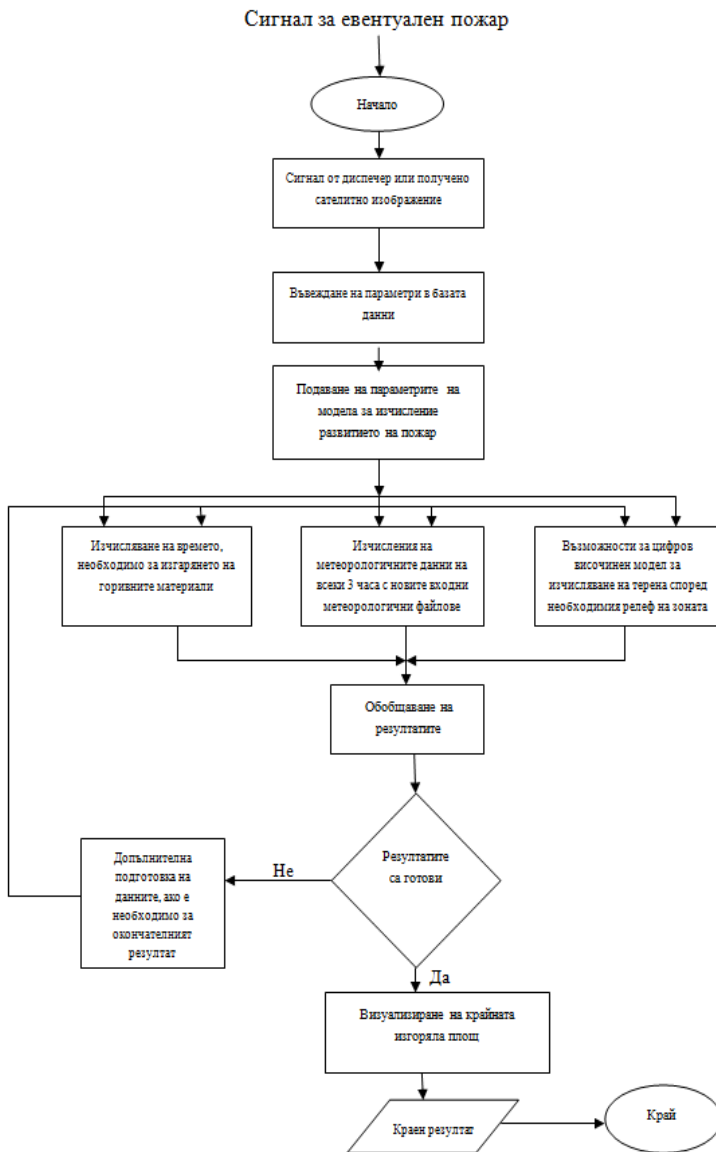
Теоретична блок-схема за бъдеща българска система, представя различни модули, които биха обработвали данните така, че отговорните служби да получават максимално реалистични сценарии за развитие и разпространение на пожара и да могат да реагират адекватно.

Структурата е подходяща за данни, получавани от сателитни източници и информация събрана от зоните на мониторинг. Всеки от модулите обработва входящите данни и ги предава на обработващ блок. Крайният

резултат е визуализираното изображение на симулирания терен, в който се разпространява пожара. Началото представлява сигнал, получен от система или диспечер за евентуален пожар, следва да бъдат въведени данни като например координати на пожара, метеорология и т.н. След което следва въведените данни да бъдат вкарани като параметри на горивния модел, което от своя страна води до изчисления, свързани с времето необходимо за изгаряне на горивните материали, изчисления на метеорологичните данни на всеки 3 часа с нови такива и подготовка на карта за съответния релеф, където е горският пожар. Резултатите се унифицират и данните са готови да бъдат използвани, ако не е необходимо допълнително изчисление. Следва подготовка на готовите данни, а след това и краен резултат – визуализация на изпълнената симулация, която дава крайната опожарена площ.

Представената схема за уеб-базирана система (фигура 1) изисква сътрудничеството на изследователи от различни области: географи, климатолози, еколози, математици, компютърни специалисти, програмисти и разбира се, не на последно място специалисти по противопожарна безопасност. Изграждането на единна система за наблюдение и автоматично откриване на пожари в комбинация със система за подпомагането вземане на решения на терен, изисква провеждането на сериозни изследвания в много области. Най-важните са изброени тук:

- Проучване на характеристиките на топографията, растителността, почвените и водни ресурси извън населените райони;
- Изследване и анализ на съществуващи модели и тяхното калибриране за българските условия, като база за съвместимост между съществуващите модели по света и тяхното приложение в България;
- Разработване на софтуер, за допълнителните характеристики, които отличават България от други страни, където описаните и калибрирани модели са създадени;



Фигура 1: Диаграма на уеб базирана система за подпомагане на вземането на решения на пожарни екипи на терен

- Визуализиране на резултатите, показващи характеристиките на климата и промените в посоката на вятъра и изпарението на водата, причинени от процеса на изгаряне;
- Разширяване на мониторинга за превантивни мерки чрез използване на сателитни и други изображения.

Основни изводи към глава 4:

1) Във всеки един момент е възможно да възникне бедствена ситуация, каквато например са горските пожари, като за целта е нужно предварителна подготовка в технически и организационен план.

2) Подробно са разгледани две системи за ранно предупреждение и откриване на стартиращ пожар (FireWatch) и за подпомагане взимането на решения (WFDSS).

3) Предложена е блок-схема на система, която би могла да включи части от работещите по света системи и да даде време на отговорните служби да реагират за засегнатите територии в България.

IV. АПРОБАЦИЯ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Списък на публикациите по дисертацията

Основните резултати, получени при разработката на дисертационната работа, са докладвани в пет публикации на специализирани международни конференции, като една от тях е получила цитиране:

1. **Dobrinkov G.**, Dobrinkova N., “Input Data Preparation for Fire Behavior Fuel Modeling of Bulgarian Test Cases (Main Focus on Zlatograd Test Case).”, 10th International Conference on "Large-Scale Scientific Computations" LSSC'15, Sozopol 8-12 June 2015, **Lecture Notes in Computer Science** 9374, ISSN 0302-9743, ISSN 1611-3349 (electronic), ISBN: 978-3-319-26519-3, DOI 10.1007/978-3-319-26520-9, Springer Germany, p. 335– p. 342, **2015. (SJR:0.32)**
2. Dobrinkova N., Hollingsworth L., Heinsch F.A., Dillon G., **Dobrinkov G.**, “Bulgarian fuel models developed for implementation in FARSITE simulations for test cases in Zlatograd area”. (E-proceeding: <http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/46778>) Wade DD & Fox RL (Eds), Robinson ML (Comp) (**2014**) ‘Proceedings of 4th Fire Behavior and Fuels Conference’, 18-22 February 2013, Raleigh, NC and 1-4 July

2013, St. Petersburg, Russia. (International Association of Wildland Fire: Missoula, MT.), p. 513- p. 521.

- **Citation:** Fidanova S., Marinov P., “The impact of slope on fire spread simulation”. Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ), **2016**, 15.3. (IF: 0.795, SJR: 0.307)
3. **Dobrnikov G.**, Dobrinkova N., “Wildfire behavior modeling data preparation for FARSITE simulations in Bulgarian test cases”, 5th International Conference on Cartography & GIS & Seminar with EU cooperation on Early Warning and Disaster/Crisis Management 15-21 June **2014**, Proceedings Vol.2, ISSN:1314-0604, **2014**, Riviera, Bulgaria, p. 763 – p. 770.
 4. **Dobrnikov G.**, Dobrinkova N., “Data preparation for fire behaviour fuel modelling in the test case of Zlatograd forestry department”. 7th International Conference on Forest Fire Research, 17-20 November 2014, Coimbra, Portugal, E-proceeding: pp. 124-131. DOI: http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_13
 5. Dobrinkova, N., **Dobrnikov G.**, “Farsite and WRF-Fire models, Pros and Cons For Bulgarian Cases”, 9th International Conference on "Large-Scale Scientific Computations" LSSC'13, Sozopol 3-7 June 2013, **Lecture Notes in Computer Science** 8353, ISBN: 978-3-662-43879-4, Springer Germany, p.382– p.389, **2014**. (SJR:0.32).

Изследванията в дисертационния труд са част от получените резултати на четири научно-изследователски проекта, три български и един международен:

1. ФНИ Договор, И01/0006 - Симулиране поведението на горски и полски пожари;
2. ФНИ Договор, 02/20 - Ефективни паралелни алгоритми за големи изчислителни задачи
3. НФНИ, Договор ДИД-02/29 - Моделиране на процеси с фиксирани правила за развитие (МодПроФикс)
4. Международен проект по програма за трансгранично сътрудничество по схемата на Интеррег „ТГС Гърция – България 2007-2013” “Open protocols and tools for the education and Training of voluntary organisations in the field of Civil Protection, against natural Disasters (forest fires) in Greece and Bulgaria” (OUTLAND)

V. НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Основни научни и научно-приложни приноси в дисертационният труд:

1. Направен е анализ на съществуващите до момента модели за симулиране на развитието на различните типове горски пожари. Адаптиран е специализиран горивен модел за низови пожари и са показани симулации за конкретния случай;

2. За първи път в България са приложени моделите FARSITE (визуализиращ в 3-мерното пространство с използване на растерни и шейп файлове в ГИС среда) и BEHAVEPlus (визуализиращ в 2-мерното пространство с използване на графики от линии развитието на пожарния пламък и скоростата на разпространение);

3. Създаден е алгоритъм за работата с реални данни от лесоустройствен план, така че да се получат горивни модели подходящи за симулация в компютърно базирана среда;

4. Направен е анализ за предимствата и недостатъците при използването на моделите WRF-Fire, FARSITE и BEHAVEPlus при симулации за български условия;

5. Предложен е проект на софтуер за интерактивна компютърна система, подпомагаща вземането на решения при ранно алармиране в случай на горски и полски пожари, която на модулен принцип чрез компонентите си състоящи се от модели като WRF-Fire, FARSITE и BEHAVEPlus да изчислява развитието на пожарите. Разработената архитектура на системата може да се прилага и с обучителна цел в университетите, подготвящи кадри за опазване горския фонд на България или факултетите към МВР, обучаващи екипите по пожарна безопасност.

Постигнатите резултати в дисертационната работа очертават следните насоки за бъдещи изследвания:

1. Разширяване на набора от тествани горивни модели и за други лесоустройствени планове, калибриране с други пожари извън територията на ДГС “Златоград”;

2. Допълване на списъка с горивни модели за случаи на върхови пожари, приложими за територии залесени с повече от 80% иглолистна гора, където низовите пожари са много по-малко и възникват по-рядко;

3. Създаване на уеб-базирана и мобилна (приложение за смарт телефони) версии на предложената архитектура на система за вземане на решения по време на горене в горски фонд така, че пожарните екипи да могат бързо и лесно да обработват постъпващата при тях информация.

Благодарности

Изказвам своята искрена признателност и благодарност на научния си ръководител проф. д-р Петър Бойваленков, а също и на научния си консултант доц. д-р Лиан Неделчев, за техните ценни напътствия, професионална компетентност и съдействие при подготовката на дисертационния труд. Изключително благодаря и за неocenимата морална подкрепа и проявено търпение.

Благодаря и на съавторите си за предоставените данни от проекти, в които те участват, за да може работата по дисертацията да бъде максимално реалистична. Получените резултати са базирани на следните проекти: И01/0006; ФНИ Договор, 02/20, НФНИ, Договор ДИД-02/29; Интеррег „ТГС Гърция – България 2007-2013” “Open protocols and tools for the edUcation and Training of voLuntary organisations in the field of Civil Protection, against nAtural Disasters (forest fires) in Greece and Bulgaria” с акроним OUTLAND.

VI. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Annual Fire Reports, Joint Research Center Technical Reports – Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2015, Report EUR 28148 EN, 2016: <http://forest.jrc.ec.europa.eu/effis/reports/annual-fire-reports/>
- [2] Internet resources of the National Fire Safety and Civil Protection Service of Bulgaria – http://www.nspbzn.mvr.bg/Sprav_informacia/Statistika/gorski.htm
- [3] Ecopolis, bulletin 48 (2001), Forest fires reach catastrophic scales (In Bulgarian) – http://www.bluelink.net/bg/bulletins/ecopolis12/1_os_1.htm
- [4] Rothermel, R. C. (1972) A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. Research Paper INT-115. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, pp. 1-40.
- [5] Grishin, A., Gruzin, A., and Zverev, V. (1983). Mathematical modelling of the spreading of high-level forest fires. *Soviet Physics Doklady*, 28(4):328-330.
- [6] Albini, Frank A. 1976. Estimating wildfire behavior and effects. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-30, 92 p. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah.
- [7] Perminov V.: Mathematical Modeling of Crown Forest Fires Initiation, Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) 2667, pp. 549-557, 2003.
- [8] Anderson, H.E., 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. *The Bark Beetles, Fuels, and Fire Bibliography*, p.143.
- [9] Joe H. Scott, Robert E. Burgan (2005). Standart Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model. General Technical Report RMRS-GTR-153, p72.
- [10] Sullivan, A.L (2007d). A review of a wildland fire spread modelling, 1990-present, 3: Mathematical analogues and simulation models. arXiv:0706.4130v1[physics.geo-ph]. 29 pp.
- [11] Sullivan, A.L (2007b). A review of a wildland fire spread modelling, 1990-present, 1: Physical and quasi-physical models. arXiv:0706.3074v1[physics.geo-ph]. 46 pp.
- [12] Sullivan, A.L (2007c). A review of a wildland fire spread modelling, 1990-present, 2: Empirical and quasi-empirical models. arXiv:0706.4128v1[physics.geo-ph]. 32 pp.
- [13] ANDREWS, Patricia L. BehavePlus fire modeling system: past, present, and future. In: Proceedings of 7th symposium on fire and forest meteorology. Boston: MA American Meteorological Society, 2007. p. 23-25.

СЪДЪРЖАНИЕ

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИЯТА.....	3
Актуалност на проблема.....	3
Цели и задачи.....	5
II. ОБЕМ И СТРУКТУРА.....	6
III. СЪДЪРЖАНИЕ.....	6
Глава 1. Горски и полски пожари, обща характеристика на параметрите използвани при компютърни симулации за определяне на поведението и разпространението им.....	6
Основни изводи към глава 1:.....	7
Глава 2. Сравнение на моделите WRF-Fire (WRF-SFIRE), FARSITE, BehavePlus и потенциала им за приложение в български условия.....	8
Основни изводи към глава 2:.....	9
Глава 3. Симулации с FARSITE за територията на ДГС „Златоград”.....	9
Основни изводи към глава 3:.....	16
Глава 4. Архитектура на информационна система за симулиране на развитието на горски и полски пожари при зададени координати.....	16
Основни изводи към глава 4:.....	20
IV. АПРОБАЦИЯ НА РЕЗУЛТАТИТЕ.....	20
Списък на публикациите по дисертацията.....	20
V. НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ.....	22
Благодарности.....	23
VI. ЛИТЕРАТУРА.....	24