

**БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ**  
**Институт по математика и информатика**

**Нина Христова Добринкова**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

на дисертация

**Информационни системи за симулиране на поведението  
на горски и полски пожари**

за присъждане на образователна и научна степен "доктор"

по научна специалност 01.01.12 "Информатика"

**Научни ръководители:**

проф. д-р Петър Бойваленков

проф. д-р Нина Синягина

**Научен консултант:**

проф. д-р Ян Мандел

София

2012

Дисертацията е обсъдена и допусната до защита на заседание на звено, назначено от директора на ИМИ-БАН със заповед 292/05.12.2011г., състояло се на 20.01.2012 г.

Дисертационният труд съдържа въведение, четири основни глави, приноси, публикации, списък с използвана литература със 124 заглавия. С общ обем 135 страници, 25 фигури и 2 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: Нина Христова Добринкова

Заглавие: Информационни системи за симулиране на поведението на горски и полски пожари

## I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

### Актуалност на проблема

Горските и полските пожари са все по-голям проблем за страните от ЕС, разположени в южните части на Европа. Статистики с развитието на горските и полски пожари през последните 25-30 години се публикуват в доклади на централите в ЕС, следящи състоянието на горите [1]. Наблюдения в страните-членки на ЕС през периода 1980 - 2005 година показват нарастване на броя на засегнатите от пожари площи. Предполага се, че едни от основните причини за случващите се пожари са промените в климата. В този период България не е била включена в изследванията, защото не е била член на ЕС, но и тя бележи ръст след 1995 г. в пожарите на горски площи [2, 3]. В световен мащаб изследванията в тази област започват в САЩ, като NCAR (National Center for Atmospheric Research) е основоположник на този тип моделиране и Ротермел [4] се счита за негов основател. Първият работещ модел на NCAR е създаден през 1972 г. и подобряван неколнократно, но разглежда твърде малко параметри и симулациите, реализирани с него, не дават точна представа за истинските мащаби, които един пожар би могъл да има.

В началото на 80-те години на миналия век, М. Гришин от Университета в Томск, Русия, предлага модел [5], който 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 набират популярност. В наши дни лабораториите, занимаващи се с такъв тип моделиране, са много повече и се намират из цялия свят.

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, се очертават видовете пожари, класифицирани по следния начин: тип 1 - нисови пожари (surface fires ([4] и [6])); тип 2 - върхови пожари (crown fires ([5] и [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 пожари от първия тип, а именно пожари, развиващи на повърхността (нисови пожари). Двата подхода разгледани в дисертационната работа акцентират на моделиране с различни данни и съответните получени резултати.

## **Цели и задачи**

Основните цели на дисертационната работа са:

1) *Разработка на софтуер за практическа реализация на математически игрови модел, ползващ относително прости правила, който описва поведението на горски пожари за местности с тревна и храстова растителност;*

2) *Адаптация на полу-емпиричния модел WRF-Fire (за първи път в България) с данни за български пожар, получени с ГИС върху ортофото изображение за топология и горими материали;*

3) *Създаване на модел на архитектура за система, която да дава прогностични резултати за това, как даден пожар би се развил във времето, като се използват различни методи за прогнозиране, в зависимост от наличния набор данни.*

Поставените цели са постигнати чрез последователно изпълнение на следните задачи:

1. Анализ на състоянието, на методите и програмните системи за симулиране на поведението на горски пожари и очертаване на перспективите за тяхното развитие;

2. Изследване на свойствата на предложения математически игрови модел, с оглед неговата софтуерна реализация и приложение за симулации на поведението на горски пожари;

3. Обработване на ортофото изображение с ГИС-инструменти, така че метеорологични и топографски данни да могат да бъдат прилагани за зоната на симулиране на горски пожар;

4. Разработка на алгоритмичното осигуряване и дизайна на програмна система, отличаваща се с удобен интерфейс и възможност за избор на метод в зависимост от наличните данни, така че да се подпомага вземането на решения от екипите, борещи се с пожара.

## **II. ОБЕМ И СТРУКТУРА**

Дисертационният труд съдържа въведение, четири основни глави, приноси, публикации, списък с използвана литература, която включва 124 източника. Обемът на дисертационния труд е 135 страници, съдържа 25 фигури и 2 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, задачи и подходи за описание на развитието 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 [8-10]. Описан е накратко математическият модел на Ротермел, за низов тип пожари. Представени са четирите вида горски пожари, според начина си на разпространение, като ние се фокусираме върху низовия тип пожари, поради по-голямата вероятност за появата им на българската територия:

– **Низовият тип** пожари се разпространява в терени с торф/хумус, тревна, храстова и негъста растителност. При моделиране на поведението на низови пожари от особена важност са фактори като: тип на горимите материали, топографски и метеорологични условия, които се изследват детайлно, преди да се прилагат моделиращи методи.

– **Върховият тип** пожари се разпространяват в терени с предимно иглолистни дървесни видове. За появата на такъв пожар обикновено е необходимо преди това да е имало активен низов тип пожар, който да е стартирал механизма на запалване.

– **Точковидните пожари** възникват при горене на дървета с голямо съдържание на смоли. При тези пожари излъчената топлина нагрява дървесните смоли до степен на "избухване". По този начин горящи кълба смола могат да изпреварят от 15 до 30 метра фронта на пожара и да стартират нови огнища, които в последствие да се съединят с основния пожар.

– **Ускорен тип** (fire acceleration) пожари се случват в места с голям наклон, например в каньоновидни местности. При тези пожари не е толкова голямо значението на типа горим материал, защото наклонът играе роля на катализатор за разпространението на пожара.

#### **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 [8, 10], 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) Шест са основните подходи, които дават различни гледни точки за описание на горските пожари.

5) В резултат от анализа на литературният обзор методите могат да се формулират като: 1) симулиране на горски пожари в зависимост от това дали се отнася до изучаване на физико-химичните реакции по време на горенето, 2) математически дефинирани процеси или емпирични методи, разглеждащи разпространението на пожара, често съчетани с други подходи. Вторите методи са по-доходящи за нашите цели.

## **Глава 2. Математически игрови модел: игрови подход за представяне на полски пожар**

Във втора глава е представен математически игрови модел. За целите на симулиране на горски пожари в модела е включена специална характеристика за всяка клетка, наречена коефициент на горене, който определя колко дълго всяка клетка би живяла, ако в нея протича процес на горене.

Моделът използва набор от символи разположени в клетките на двумерна мрежа [11], за които се отнасят следните правила:

- съдържанието на самите клетки (то се променя под въздействието на пожара в съответната клетка);
- взаимодействието между съдържанието на съседните клетки (ако една клетка гори, тя влияе на своите съседи).

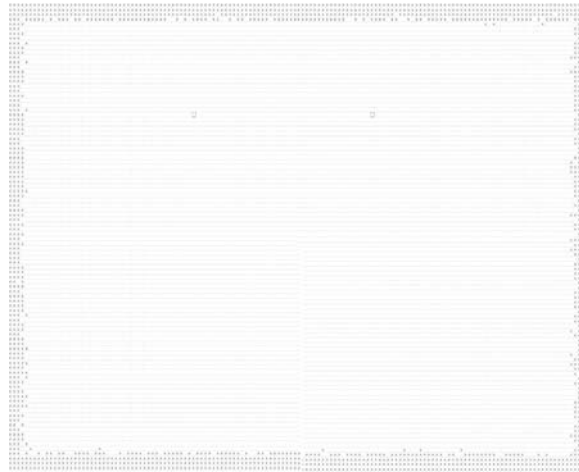
Клетка със съдържание 0 е негоряща (например част от езеро, река, скала или вече изгоряла клетка).

Всяка клетка съдържа определено количество горима материя, която се представя с определен символ. Тези символи могат да представят характеристики на горивния материал в клетката, такива като физическите параметри: маса и гъстота, необходими ни за описание на горима повърхност.

В нашия случай всяка клетка се характеризира с три компонента, като първите два компонента съдържат координатите на клетката, а третият компонент е коефициент на горимост, който може да е представен с число, съответстващо на гъстотата на горимата материя за съответната клетка. Получената така конфигурация на клетката(клетките) се счита за начална.

Прилагаме правилата така, че да можем да направим проверка за статистическа коректност като за достатъчно голям брой конфигурации - приемаме да са 30, се реализира софтуерна програма на *Turbo Delphi v.6*,

наречена "Field Fire". Резултат от изпълнението на алгоритъма върху 30 конфигурации с размери на мрежата - 143 x 143, показва изпълнението на алгоритъма.



*Фигура 1: Разлики между средноаритметичните стойности на изгорените площи*

С  $x$  са маркирани клетките, които съдържат различни числа в сравнението между средноаритметичната на изгорелите коефициенти и крайната конфигурация.

Сравнението показва, че само 914 клетки са различни, което е около 4% от цялата площ на конфигурацията. Наблюдаваните различия са в крайните клетки, където явно се наблюдава граничен ефект. Следователно можем да заключим, че от статистическа гледна точка имаме приблизително еднакви резултати и методът може да бъде прилаган за описание на такъв тип разпространение на пожар от централен източник.

## **Основни изводи към глава 2:**

1) Извършените изследвания ни дават основание да считаме, че предложеният математически игрови модел може да се използва за описание на разпространението на горски и полски пожари в равни местности със сравнително равномерно разпределение на треви, храсти или дървета. През 2011 г. допълнение към модела за някои случаи на вятър от различни посоки, беше предложено от Евдокия Сотирова от Бургаския университет, като се използват резултатите от нашата програма.



2) От постигнатите резултати може да се заключи, че моделът има нужните качества да бъде важна съставна част от система за следене на разпространението на сравнително малки горски или полски пожари.

3) Усъвършенствания на програмната реализация към модела биха могли да отчитат: метеорологични параметри (например влажност на въздуха, вятър и/или температура), съобразно които коефициентът за горене може да бъде увеличаван или намаляван.

4) Софтуерната реализация на алгоритъма не се нуждае от специални изчислителни ресурси. Поради неоперативния характер на изследването, в момента в потребителския интерфейс не е включена опцията потребителят сам да задава размерността на конфигурацията, но това може да се коригира при необходимост.

### Глава 3. Тестване на модела WRF-Fire в български условия

В трета глава е представен модел от ново поколение, наречен WRF-Fire [12] създаден в Денвър, САЩ. Полу-емпиричният подход за представяне на разпространението на пожара предполага, че пожарът се разпространява в посока на нормалата на фронтната линия, като това се изразява с модифицирана формула на Ротермел. Горящият район за време  $t$  е представен като област  $\Omega$ , която е набор от точки  $(x, y)$ . Нека

$$\tilde{S} = \min \{B_0, R_0 + \phi_w + \phi_s\}, \quad (3.1)$$

където  $B_0$  е разпространението срещу посоката на вятъра,  $R_0$  е разпространението на пожара при липса на вятър,  $\phi_w = a (\vec{v} \cdot \vec{n})^b$  е корекцията на вятъра и  $\phi_s = d |\nabla z \cdot \vec{n}|$  е корекцията на терена,  $\vec{v}$  е вятъра,  $\nabla z$  е теренна компонента на нормалата  $\vec{n}$  на линията на пожарния фронт,  $a$ ,  $b$  и  $d$  са константи. Тогава WRF-Fire използва следната формула:

$$S = \begin{cases} 0, & \text{ако } \tilde{S} < 0 \\ S_{\max}, & \text{ако } \tilde{S} > S_{\max} \\ \tilde{S}, & \text{ако } 0 \leq \tilde{S} \leq S_{\max} \end{cases}, \quad (3.2)$$

където  $S_{\max}$  е максималното разпространение на пожара.

Нека след като горимите материали се запалят, количеството на горимия материал в точка  $(x, y)$  намалява експоненциално, като се представя чрез формулата:

$$F(x, y, t) = F_0(x, y)e^{-(t-t_i(x,y))/W(x,y)}, \quad (3.3)$$

където  $t$  е времето,  $t_i$  е времето на запалването,  $F_0$  е началното количество на горимите материали (преди да са се запалили) и  $W(x,y)$  не зависи от времето, а от горимите материали.

Топлинният поток, освободен от пожара, се представя в атмосферния модел като слой над земната повърхност, който се разполага във височина [13]. Потокът зависи от количеството изгорял материал, т.е. може да се представи с формулата:

$$\Phi = -A(x, y) \frac{\partial}{\partial t} F(x, y, t). \quad (3.4)$$

Това представяне се прави, защото атмосферният модел, представляващ WRF, не поддържа гранични стойности за топлинен поток. Коефициентите  $B_0$ ,  $R_0$ ,  $S_{\max}$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $d$ ,  $W$  и  $A$ , които характеризират горимите материали, се определят чрез лабораторни експерименти.

За всяка точка в равнината коефициентите на горимите материали са дадени като представители на една от 13-те категории на Андерсън [14], валидни за САЩ. За определянето им са използвани и стойности на вятъра от различни надморски височини. WRF-Fire има вътрешно представяне на всяка една от тези категории и съпътстващите ги допълнителни характеристики, което дава възможност за модифициране, когато симулираният пожар е извън САЩ.

WRF-Fire използва и друго моделиране на разпространението на пожара с помощта на т. нар. функции за установяване на нивата (level-set functions) [15]. При този подход се задава функция  $\psi = \psi(x, y, t)$ , която определя подобласти на  $\Omega$  по следното правило:

$$\Omega(t) = \{(x, y) \in \Omega : \psi(x, y, t) < 0\}. \quad (3.5)$$

Тези области се считат за изгорели, а линията на пожара се задава от кривата:

$$\Gamma(t) = \{(x, y) \in \Omega : \psi(x, y, t) = 0\}. \quad (3.6)$$

Функцията  $\psi(x, y, t)$  удовлетворява уравнението:

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + S(x, y) |\nabla \psi| = 0, \quad (3.7)$$

което може да се решава числено.

Формули (3.1) - (3.7) са достатъчни за общото описание на симулацията на развитието на пожара. В началото от атмосферния модел се интерполира вятъра, така че да отговаря на размерите на по-малката област, където гори пожарът. След това се прилага числен метод за оценяване на функцията за установяване на нивата. На следващата стъпка се прилагат квадратурни формули за оценка на запаленото количество горим материал. Паралелно с това се оценява освободения топлинен поток към атмосферата. Последното води до промяна в метеорологичните условия и следователно до повтаряне на стъпките отново.

WRF-Fire е тестван за първи път с истински горски пожар в България (случил се в близост до село Лешниково, Харманлийско, 14-17 август 2009). Поради липсата на съпътстващ софтуер и данни, (каквито в САЩ има, но липсват за България), в тази глава е предложена процедура, чрез която от ортофото снимка и сателитна информация може да се определят горимите материали и топологията на разглеждания район, а извлечените данни да се използват заедно с метеорологичната информация, описваща времето в периода на пожара. Използвани са паралелни изчисления за симулациите представени в таблица 1.

Ядра	6	12	24	36	60	120	240	360	480	720	960	1200
Разпространение фронталния в км.	1.91	1.08	0.50	0.34	0.22	0.13	0.08	0.06	0.06	0.04	0.10	0.04
Област 1	6.76	7.05	2.90	2.06	1.20	0.73	0.45	0.32	0.26	0.23	0.24	0.17
Област 2	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.04	0.04	0.06	0.06	0.08	0.07	0.15
Общо в сек. коеф. за реално време	10.59	9.21	3.91	2.75	1.64	0.99	0.61	0.44	0.37	0.31	0.44	0.26

Таблица 1: Времето, необходимо за симулация, представено в секунди в зависимост от броя на процесорите, върху който се пуска паралелното изпълнение на процесите

### **Основни изводи към глава 3:**

1) В тази глава е показано как симулация, базирана на реални данни за България, може да се направи от сателитна снимка и ГИС растерни данни.

2) Полученият при третата симулация резултат демонстрира значително сходство между реално случилия се пожар и симулирания. Използваните данни могат да се обработят допълнително в бъдеще, за да се получат още по-прецизни резултати.

3) От показаните изображения на симулирания резултат и реалния пожар се вижда, че пълно съвпадение между резултата и реалната площ няма, но все пак основните контури на пожара от симулацията през първия ден приличат на тези от реално изгорелия пожар описан в лесовъдното стопанство на гр. Харманли.

4) Постигнатият резултат е важна стъпка към създаването на модел за прогнозиране на разпространението на горски и полски пожари в България. Тъй като симулацията на пожара може да бъде по-бърза от развитието на пожар в реално време, то се откриват възможности за моделиране на разпространението по-бързо от самото разрастване на пожара, с цел управление на пожарите и минимизиране на отрицателните последици и щети от тях.

### **Глава 4. Пример за архитектура на система за ранно прогнозиране и следене развитието на горски и полски пожари**

Четвърта глава описва проект на архитектура на система за ранно предупреждение при горски пожари и необходимите компоненти, които тя следва да има, за да бъде приложима в оперативната работа на отделите в МВР за гражданска защита и пожарна безопасност. За първи път идеята на тази архитектура е представена от автора в проектно предложение наречено "PERUN", подадено по програма FP7 (2007). Реализацията на система за ранно прогнозиране и следене на развитието на горски и полски пожари изисква провеждането на сериозни научни изследвания в много области:

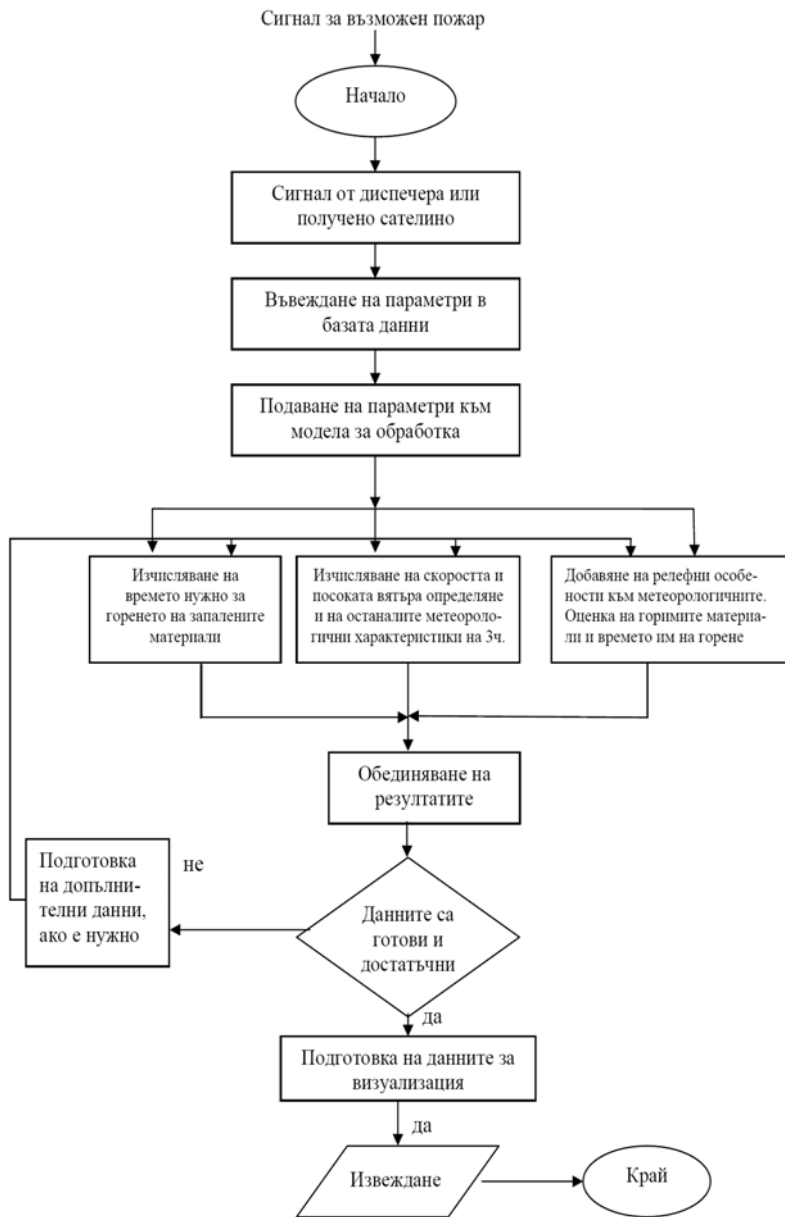
1. Статистически изследвания на особеностите на релефа, видове растителност, почвени и водни ресурси както и характерните особености за тях;

2. Изследване и анализ на съществуващи модели и тяхното калибриране за българските особености на релеф и климат, като за база могат да служат резултатите, получени от работата с модела WRF-Fire, показан в глава 3 и резултатите получени в глава 2;
3. Разработка на софтуерни решения, отчитащи допълнителните характеристики, отличаващи България от другите страни, където моделите са създадени;
4. Визуализация на получените резултати така, че да показват и климатичните характеристики при завихряннията на вятъра и изпарението на водните количества от горимите материали;
5. Осигуряване на възможности за добавянето на сателитни или други изображения, отразяващи земеползването на засегнатия от пожари участък.

Всичко това изисква съвместната работа на изследователи от различни области: географи, климатолози, еколози, математици, компютърни специалисти, програмисти и, разбира се, не на последно място, специалисти по противопожарна безопасност. Самата архитектура е представена на фигура 2.

Структурата е подходяща както за данни постъпващи от сателитни източници, така и за данни събирани от районите на наблюдение. Всеки един от модулите обработва постъпващата информация и тя се предава към един обработващ модул. Крайния резултат е визуализирано изображение на симулирания терен, където пожара е в процес на развитие.

Тук е важно да се отбележи необходимостта на паралелните изчисления, защото само така би могло да се постигне по-бързо симулиране на разпространението от реално време, което е и ценното за екипите на пожарна безопасност.



Фигура 2: Блок-схема на изпълнението на задачите в системата

#### **Основни изводи към глава 4:**

1) В световен мащаб има редица модели за симулиране на горски пожари, които са пригодени за специфични локални условия. Не всички модели, биха могли да бъдат използвани за симулации в България, тъй като някои от използваните параметри изобщо не кореспондират с българските особености [16, 18]. Тези модели, които могат да се използват, трябва да бъдат преработени и адаптирани за конкретните топографски, климатични, земеустройствени и др. условия с цел приложението им в България.

2) След направените числени експерименти, демонстрирани в глава 3, бихме могли да кажем, че моделът WRF-Fire има всички качества, за да бъде доразвит за условията на България и оперативно използван от екипите на пожарна безопасност и спасяване. За целта е необходимо създаване на централизирана база данни, които да съдържат необходимата информация за симулиране на горски пожари, която да се използва както за практически цели, така и за научно-изследователска работа в тази област.

## **IV. АПРОБАЦИЯ НА РЕЗУЛТАТИТЕ**

### **Списък на публикациите по дисертацията**

Основните резултати, получени при разработката на дисертационият труд, са публикувани както следва:

1. Dobrinkova N., S. Fidanova and K. Atanasov, "Game-Method Model for Filed Fires", 7<sup>th</sup> International Conference on "Large-Scale Scientific Computations" LSSC'09 (June 4-8, 2009, Sozopol), Lecture Notes in Computer Science, Springer, Germany, 2009, ISSN: 0302-9743, ISBN: 978-3-642-12534-8, p. 173 – p. 179

2. Dobrinkova N., Jordanov G., Mandel J. „WRF-Fire Applied in Bulgaria", 7<sup>th</sup> International Conference on Numerical Methods and Applications: NM&A'10 (August 20-24, 2010, Borovez), Lecture Notes in Computer Science, Springer, Germany, volume 6046, ISSN 0302-9743, p.133-140.

3. Dobrinkova N., Jordanov G., „WRF-Fire wildfire modelling in the test area of Harmanli, Bulgaria", Proceeding 6<sup>th</sup> International conference on Forest Fire Research (November 15-18, 2010, Coimbra, Portugal), ISBN: 978-989-20-2157-7, disk paper number: c43 under section Fire Behavior Modelling, pages

4. Dobrinkova N., L. Nedelchev "PERUN a system for early warning and simulation of forest fires and other natural or human-caused disasters".

International Conference "Наука и образование", (March 14-15, 2008, Belovo, Russia), 2008, ISBN 5-8353-0822-1, p.99 – p.105

Резултатите, са докладвани както следва:

1. 7<sup>th</sup> International Conference on "Large-Scale Scientific Computations" LSSC'09 (June 4-8, 2009, Sozopol, Bulgaria).
2. 7<sup>th</sup> International Conference on Numerical Methods and Applications: NM&A'10 (August 20-24, 2010, Borovez, Bulgaria).
3. 6<sup>th</sup> International conference on Forest Fire Research (November 15-18, 2010, Coimbra, Portugal).
4. International Conference "Наука и образование", (March 14-15, 2008, Belovo, Russia).
5. Национален Семинар по Теория на Кодирането 2009г. и 2011г.

Изследванията в дисертационният труд са част от получените резултати на пет научно-изследователски проекта, три в България и два в САЩ, както следва:

1. BG051PO001-3.3.04/40: "Проект финансирани от ЕСФ и Р.България – MOMH по Оперативна програма "Развитие на човешки ресурси"";
2. ДИД 02/29: Проект "Моделиране на процеси с фиксирани правила" Акроним: ModProFix
3. ДМУ 02/14 Проект " Консолидиране и обработване на параметри за пожари в горски масиви на територията на България чрез прилагане на модела WEATHER RESEARCH AND FORECASTING MODEL-FIRE (WRF-FIRE) "
4. U.S. National Foundation grant AGS-0835579
5. NIST Fire Research grant 60NANB7D6144.



## **V. ЗАКЛЮЧЕНИЯ И ОСНОВНИ ПРИНОСИ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

### **Основни научни и научно-приложни приноси**

Основни научни и научно-приложни приноси в дисертационната работа:

1. Направен е анализ на съществуващите до момента методи за описание на поведението на различните типове горски пожари. Направена е оценка на възможността за поява на най-разпространения тип пожари за нашите условия – низовия;

2. Предложен е математически игрови модел за равнинни горски или полски пожари, като е създаден специален софтуер за практическото използване на модела;

3. За първи път в България е приложен успешно експериментален модел, наречен WRF-Fire, служещ за прогнозиране на разпространението на горски и полски пожари. WRF-Fire е модел от последна генерация и използва подходи от по-ранни подобни модели в САЩ (FARSITE, BEHAVE, BEHAVE Plus);

4. Създаден е алгоритъм на работата с реални данни в модела WRF-Fire, с цел данните, обработени с ГИС-софтуер от ортофото снимки да бъдат използвани, така че информацията за горимите материали да разглежданата област, в добавка с метеорологичните данни, да могат да се обработят в Линукс среда;

5. Предложена е архитектура и проект на интерактивна компютърна система за подпомагане на вземането на решения при ранно алармиране в случай на горски и полски пожари, която да ползва на модулен принцип независими един от друг модели за прогнозиране разпространението на пожарите. Разработената архитектура на системата може да се прилага и с учебителна цел в университетите, подготвящи кадри за опазване горския фонд на България или факултетите към МВР, обучаващи екипите по пожарна безопасност Насоки за бъдещи изследвания

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

1. Изследване на допълнителни модели за низови пожари, както и модели от другите три типа пожари от общоприетата класификация;
2. Допълване на създадения математически игрови модел с метеорологични данни;
3. Създаване на уеб-базирана версия 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**

Издавам своята искрена признателност и благодарност на научните си ръководители проф. д-р Петър Бойваленков и проф. д-р Нина Синягина, както и на доц. д-р Лиан Неделчев, за техните ценни напътствия, професионална компетентност и съдействие при подготовката на дисертационния труд. Изключително благодаря и за неоченимата морална подкрепа и проявено търпение.

Бих искала още да изкажа благодарности на консултанта проф. д-р Ян Мандел, за оказаната помощ и подкрепа при провеждането на изследванията и симулациите, описани в глава 3, както и на проф. д-р Красимир Атанасов и доц. д-р Стефка Фиданова, за съдействието при работата по математическия игрови модел, представен в глава 2.

Благодаря и на колегите от университета в Денвър, щата Колорадо, за проявената отзивчивост и полезни дискусии по време на посещението ми там.

Благодаря за финансовата подкрепа получена от проектите: СРП-102/07; ДМУ 02/14, ДИД 02/29; BG051PO001-3.3.04/40; AGS- 0835579 (U.S. National Science Foundation -"NSF"); 60NANB7D6144 (U.S. National Institute of Standards and Technology Fire Research Grants Program); CNS-0821794-NSF.

## VI. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Report 6, Forest Fires in Europe 2005, Joint Research Center - European Commission, EUR 22312 EN, European Communities 2006
- [2] Internet resources of the National Fire Safety and Civil Protection Service of Bulgaria – [http://www.nspbzn.mvr.bg/Sprav\\_informacia/Statistika/gorski.htm](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](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] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] K. Atanassov, book "Game method for Modelling". Acad. Publ. House prof. Marin Drinov, Sofia, 2011.
- [12] Michalakes, J., S. Chen, J. Dudhia, L. Hart, J. Klemp, J. Middlecoff, W. Skamarock, 2000: Development of a next-generation regional weather research and forecast model. Proceedings 9th ECMWF Workshop on the use of Parallel Processors in Meteorology. Reading, U.K., November 13-16. Argonne National Laboratory Preprint ANL/MCS-P868-0101.
- [13] Patton, E.G., Coen, J.L.: WRF-Fire: A coupled atmosphere-fire module for WRF. In: Preprints of Joint MM5/Weather Research and Forecasting Model Users Workshop, Boulder, CO, June 22-25. NCAR(2004)221223 <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/workshop/ws04/Session9/PattonEdward.pdf>.
- [14] Anderson, H.E.: Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Research Report INT-122 (1982) <http://www.fs.fed.us/rm/pubsint/intgr122.html>.
- [15] [http://ccm.ucdenver.edu/wiki/Jan\\_Mandel/Blog/2010\\_Dec\\_2011\\_Jan](http://ccm.ucdenver.edu/wiki/Jan_Mandel/Blog/2010_Dec_2011_Jan)
- [16] Любенов К., Константинов В.: Анализ и оценка на пожарите и пожарната опасност в горите. Лесовъдска мисъл 1-2/ 2008, vol. 36, p. 57-73.
- [17] Velizarova E., Filcheva E.: Effects of Forest Fires on the Organic Matter of Soils in Plana and Ihtimanska Sredna Gora Mountains. Journal Soil Science Agrochemistry and Ecology, vol. 1-4, 2011, p. 59-63.
- [18] Velizarova E., Tashev A., Topalova-Rzerzycha L., Atanassova I.: Dynamic of Soil Organic Matter after Surface and Crown Fire Depending on the Forest Tree Species Variability. Journal Soil Science Agrochemistry and Ecology, vol. 1-4, 2011, p. 77-81.

## VI. ЛИТЕРАТУРА

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИЯТА.....	3
Актуалност на проблема.....	3
Цели и задачи.....	4
II. ОБЕМ И СТРУКТУРА.....	5
III. СЪДЪРЖАНИЕ.....	5
Глава 1. Горски и полски пожари, задачи и подходи за описание на развитието и разпространението им.....	5
Основни изводи към глава 1: .....	6
Глава 2. Математически игрови модел: игрови подход за представяне на полски пожар.....	7
Основни изводи към глава 2: .....	8
Глава 3. Тестване на модела WRF-Fire в български условия.....	9
Основни изводи към глава 3: .....	12
Глава 4. Пример за архитектура на система за ранно прогнозиране и следене развитието на горски и полски пожари.....	12
Основни изводи към глава 4: .....	15
IV. АПРОБАЦИЯ НА РЕЗУЛТАТИТЕ.....	15
Списък на публикациите по дисертацията.....	15
V. ЗАКЛЮЧЕНИЯ И ОСНОВНИ ПРИНОСИ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.....	17
Основни научни и научно-приложни приноси.....	17
Благодарности.....	18
VI. ЛИТЕРАТУРА .....	19