

## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДИМООБРАЗУВАЩАТА СПОСОБНОСТ НА БОРОВА И ДЪБОВА ДЪРВЕСИНА. ОЦЕНКА НА ТОКСИЧНОСТТА ЗА ПРОДУКТИТЕ ОТДЕЛЯНИ ПРИ ТЛЕЕНЕ

**А. Стоянов<sup>1</sup>, М. Михайлов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

**РЕЗЮМЕ.** Целта на изследването е да се получат опитни данни за димообразуващата способност на борова и дъбова дървесина и да се оцени токсичността на продуктите отделяни при безпламъчното им горене.

DETERMINING THE ABILITY TO EMIT SMOKE IN PINE AND OAK WOOD. EVALUATION OF THE TOXICITY OF THE PRODUCTS EMITTED DURING SMOLDERING

A. Stoyanov<sup>1</sup>, M. Michaylov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Mining and Geology "St. Iv. Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. The purpose of the study is to determine the ability to produce smoke in pine and oak wood and the toxicity of the products released during smoldering.

### Въведение

Димообразуването съпровожда всички стадии на развитие на пожара.

Настоящата статия следва изследванията в (Стоянов А. и др., 2011), за термодинамичните стадии на самозапалване на дървесина. В условията на пожар, при горене на дървесина, се отделят газообразни, течни и твърди продукти на горенето, които се разпространяват в газовата среда и създават задимяване.

Обемът на отделящия се дим (финодисперсна композитна система), неговата плътност и токсичност, зависят от състава и свойствата на горящия материал и от условията на протичане процеса на горене, характеризирани преди всичко с гориво-въздушното отношение и неговото положение спрямо стехеометричното.

Интегралния показател, който характеризира димообразуващата способност на материалите е **коэффициента на димообразуване** (Методика, 1983; Баратов А. Н. и др., 1988):

$$D_m = \frac{V}{m \cdot L} \cdot \ln \frac{E_0}{E_{min}} [m^2/kg] \quad (1)$$

където:  $m$  - маса на образеца [kg];

$V$  - обем на димната камера, в която се извършва теста [m<sup>3</sup>];

$L$  - дължина на светлинния лъч в задимената среда - разстояние между източника на светлина и фотодиода [m];

$E_0$  и  $E_{min}$  – начална ( $E_0$ ) и минимална ( $E_{min}$ ) осветеност [lx].

$D_m$  характеризира оптичката плътност на дима (Методика, 1983), образуващ се при пламъчно горене, или термоокислителна деструкция (тлеене) на определено количество твърдо вещество (дървесина) в условията на специални изпитания.

По димообразуващата си способност материалите се класифицират в три групи (Баратов А. Н. и др., 1988) според големината на коефициента на димообразуване:

⇒ с малка димообразуваща способност - при

$$D_m \leq 50 \text{ m}^2/\text{kg};$$

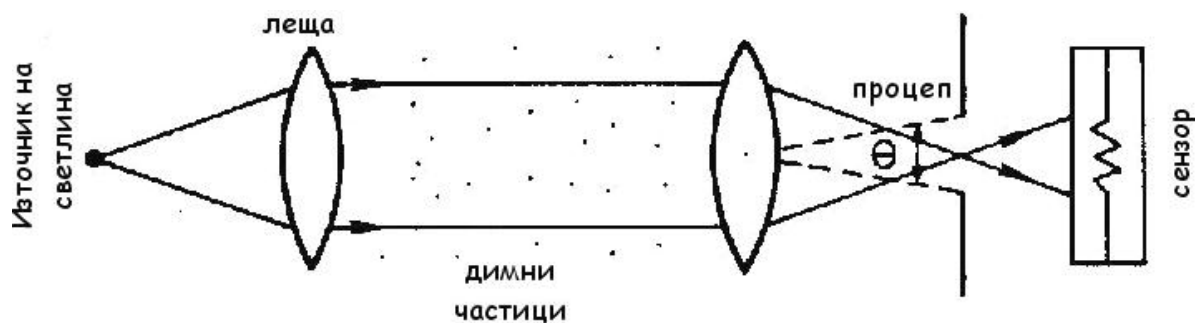
⇒ с умерена (средна) димообразуваща способност -

$$50 \text{ m}^2/\text{kg} \leq D_m \leq 500 \text{ m}^2/\text{kg};$$

⇒ с голяма димообразуваща способност, когато

$$D_m > 500 [m^2/kg].$$

Същността на метода (Методика, 1983), се заключава в определяне оптичката плътност на дима, образуващ се при тлеене или горене на определено количество от изпитвания материал – мека или твърда дървесина (Строй консултант 2.1, 1999). За нейното определяне се използва фотометрична система състояща се от източник на светлина, който трябва да осигури успоредност на снопа лъчи в диаметър до 70 [mm] и фотоелемент с характеристики максимално доближени до спектралната чувствителност на човешките очи (фиг.1).



Фиг. 1.

За източник на светлина се използва лампа с мощност 100 W или лазер от типа ЛГ – 78 и фотоелемент с диаметър  $\Phi 25$  или  $\Phi 107$ . Сензорът се свързва към луксометър, с две скали: от 0 до 10 lx и от 0 до 100 lx (Баратов А. Н. и др., 1988).

## Методика на експеримента

Опитите за определяне на масовата оптична плътност на дима бяха проведени със стружки от дъбова и борова дървесина в "Научно приложния институт по пожарна безопасност и спасяване – МВР". Допълнително се измерваше и токсичността на дима при тлеене.

Изпитани бяха три броя образци – два от дъбова и един от борова дървесина, в условия на влажност  $\varphi = 62\%$  и температура на въздуха  $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$  –отговарящи на изискванията на (Методика, 1983).

Средната влажност на образците  $\overline{W}_i$  беше:

$$\Rightarrow \text{дъб №1} - \overline{W}_1 = 9.34 \pm 0.67\% ;$$

$$\Rightarrow \text{дъб №2} - \overline{W}_2 = 9.08 \pm 0.36\% ;$$

$$\Rightarrow \text{бор} - \overline{W}_3 = 6.24 \pm 0.28\% .$$

При използвания фотометричен метод за определяне на димообразуващата способност на дървесината, се регистрира отслабването на осветеността при преминаване на светлинните лъчи през задименото пространство (Методика, 1983) (фиг.2). Димната камера на фигурата служи за изгаряне на пробите, събиране и хомогенизиране на отделения при горенето димен аерозол. Тя има форма на паралелопипед с размери  $900 \times 900 \times 600$  mm и обем  $V = 0,486$  m<sup>3</sup>.

Определянето и контрола на температурата на самовъзпламеняване се извършва чрез няколко опита с точност  $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и посредством термодвойка ХА 9 с

диаметър 0,5 mm, свързана с уреда за измерване на температура (цифров термометър) 8 - фиг.2.

За хомогенизиране на димния аерозол се използва монтираният в тавана на камерата вентилатор 7 тип БВ-25 с мощност 20 W и  $550\text{ min}^{-1}$ , а подвижният защитен екран 12 над пещта, служи да предпазва вътрешното пространство от прегряване над  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  фиг. 2.

Блокът за определяне на оптичката плътност се състои от източник на светлина 6 - електролампа, поместена в геометричния център на параболичен автомобилен отражател и фотодиод 4 свързан към източника на захранващото напрежение фиг.2. Разстоянието между източника на светлина 6 и фотодиода 4 е 600 mm фиг.2.

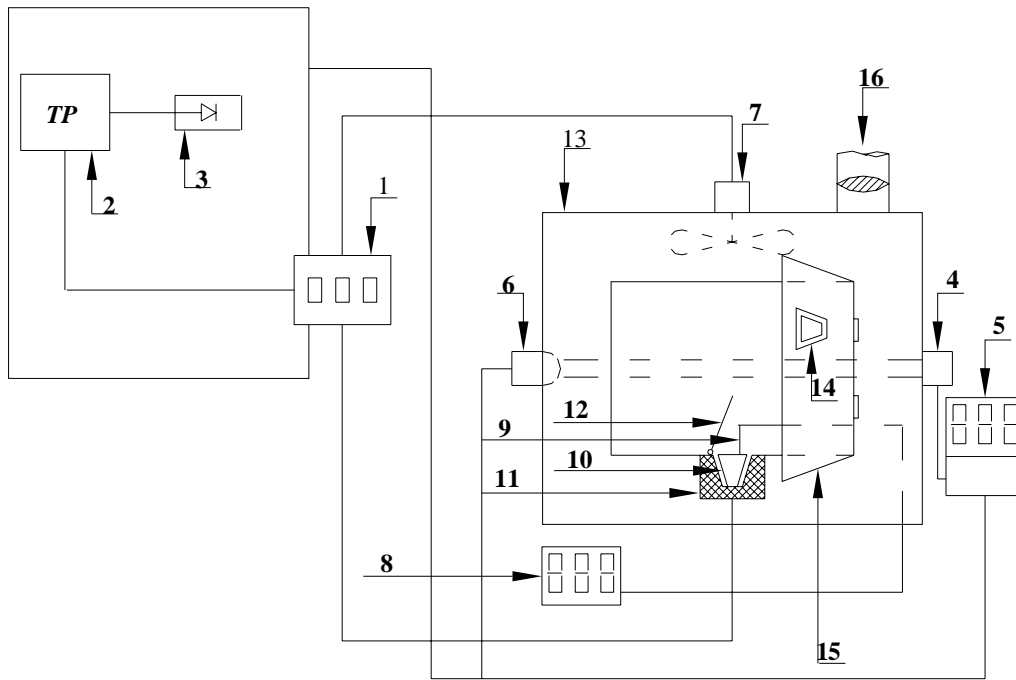
Захранващият блок се състои от трансформатор 2 и стабилизирани регулируем токоизправител, осигуряващ захранването на блока за определяне оптичката плътност на дима - фиг.2.

Отчита се момента от време  $T_0$  на поставяне на пробата в тигела, който е начало на експеримента.

Пробите се нагряваха до температура на самозапалване - момента от време  $T_1$ . След началния момент на самозапалване – на тлеещо беспламно горене, обемът на камерата се запълваше с димен аерозол. С течение на времето оптичката плътност на средата се увеличаваше, а напрежението на миливолтметъра намаляваше.

Отчетената най-ниска стойност  $E_{\min}$  на миливолтметъра в края на горенето, в момента от време  $T_2$ , се наблюдаваше няколко секунди ( $5 \div 10$  s – до устойчиво показание на уреда), а след това димната среда се хомогенизираше с включен вентилатор в продължение на 60 s. В края на хомогенизирането (време  $T_3$ ) отново се отчиташе  $E_{\min}$ .

След приключване на опита, камерата се вентилираше от димния аерозол, като последното се установяваше визуално по интензивността на светлинния поток, а след изстиване на тигела, остатъка в него се претегляше.



Фиг. 2. Експериментален стэнд за определяне масовата оптическа плътност на димния аерозол  
 1 – захранване 220 V; 2 – трансформатор; 3 – стабилизирания токоизправител; 4 – фотодиод; 5 – мултиметър; 6 – светлинен източник (лампа); 7 – вентилатор; 8 – цифров термометър; 9 – термодвойка (хромел-аломел  $\phi D$  0,5 mm); 10 – тигел; 11 – пещ; 12 – защитен екран; 13 – камера; 14 – прозорче за наблюдение; 15 – вратичка; 16 – димоотвод с клапа.

## Опитни резултати

Масовата оптическа плътност на димния аерозол се определя по формулата (Методика, 1983):

$$D_{\Delta m} = \frac{0,75}{\Delta m \cdot 10^{-3}} \cdot 2,31g \frac{E_0}{E_{\min}} [m^2/kg], \quad (2)$$

където:  $\Delta m = m_1 - m_2$

$m_1$  и  $m_2$  - "m<sub>1</sub>" масата на пробата преди опита и "m<sub>2</sub>" масата на пробата след опита в kg;

$E_0$  и  $E_{\min}$  - начално и минимално напрежение на тока в измервателната верига на фотодиода в mV.

Масовата оптическа плътност на дима се използва за технически разчети в аспект на прогнозиране.

В практиката обикновено се използва реципрочния показател - видимостта  $V_{is}$  (dr.Wang Q., K. Ma & M. Lundqvist, November 2003), дефинирана като:

$$V_{is} = \frac{1}{OD} [m], \quad (3)$$

където OD е оптическа плътност ( $m^{-1}$ )

Оптическата плътност OD се определя съгласно формулата:

$$OD = POD \times C_m, \quad (4)$$

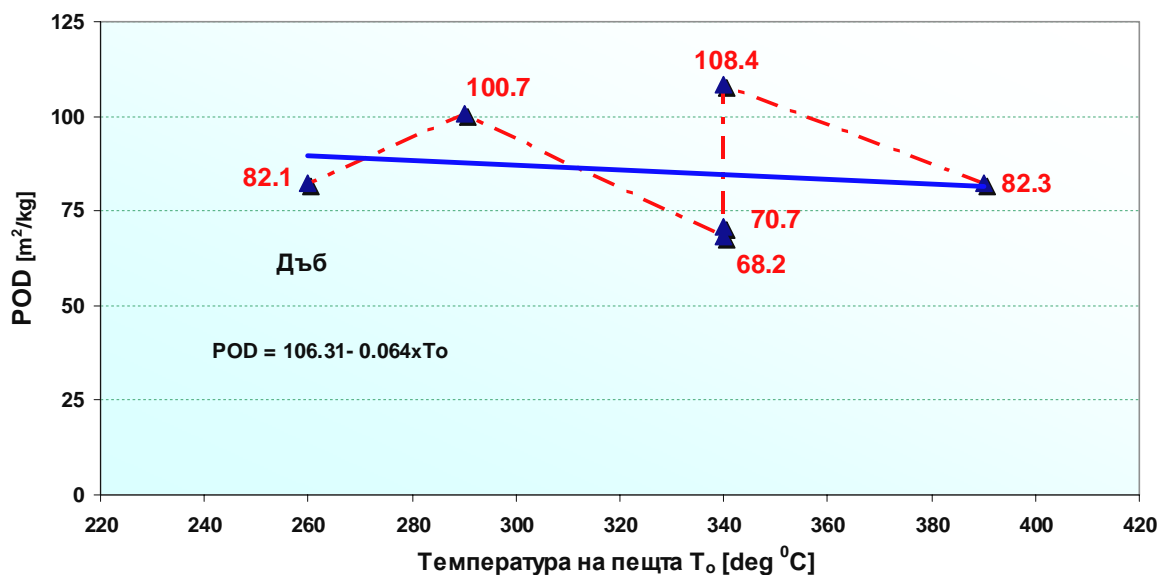
където: POD е оптическата плътност на частицата в  $[m^2/kg_{сажди}]$ ;  
 $C_m$  - масова концентрация на сажди в дима в  $[kg_{сажди}/m^3_{дим}]$ .

Настоящото изследване е съобразено с еквивалентността на понятията масова оптическа плътност на дима и оптическа плътност на частицата ( $D_{\Delta m} = POD$ ).

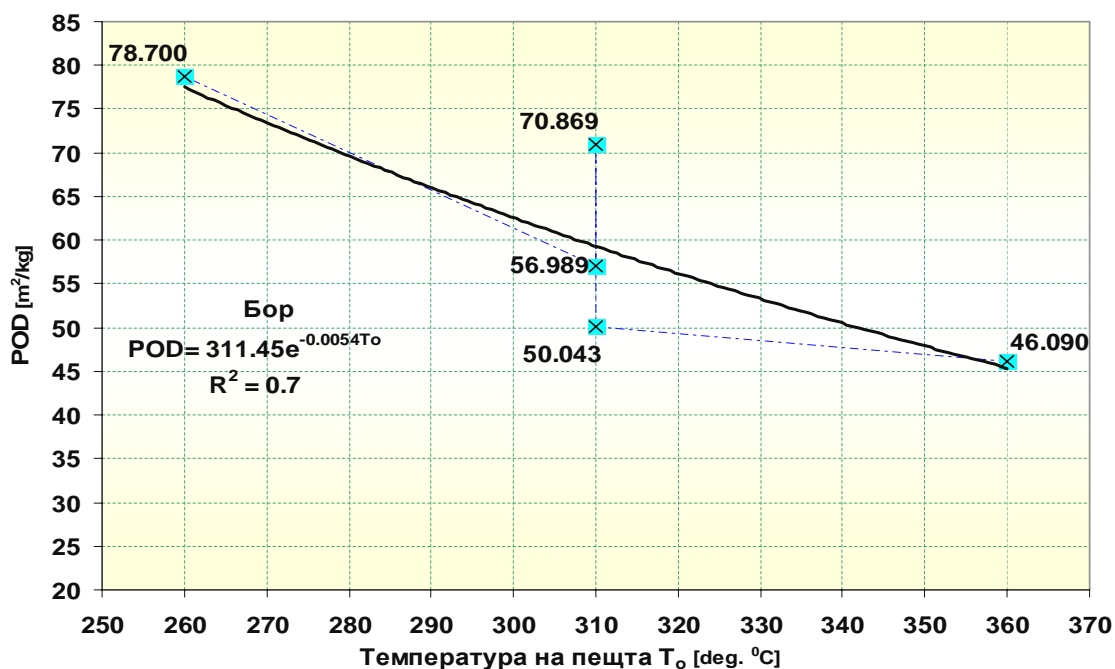
Получените данни от експериментите, са обработени математически и окончателните резултати са показани на фигури от 3 до 5.

При дъба, максималната масова оптическа плътност е  $\max POD^{дъб} = 108,4 m^2/kg$  и се достига при температура на пещта  $T_0 = 345^\circ C$  фиг. 3, а за бора съответните стойности са  $\max POD^{бор} = 78,7 m^2/kg$  при  $T_0 = 260^\circ C$  фиг. 4.

Съгласно 3 и 4, за максималните стойности на POD, при двата вида дървесина, са определени масовите концентрации на сажди в дима  $C_m$  при съответстващи видимости  $V_{is}$ , а резултатите са показани на фиг.5.



Фиг. 3.



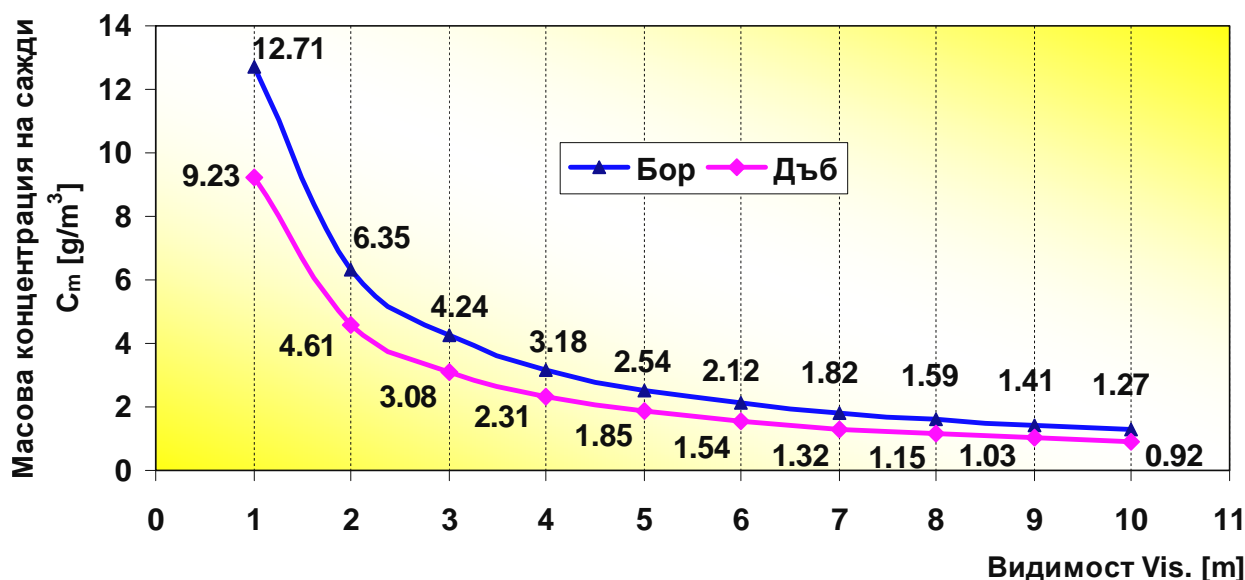
Фиг. 4.

При приети концентрации на сажди - например  $C_m^{Дъб} = 1,85 \text{ g/m}^3$  и  $C_m^{Бор} = 2,54 \text{ g/m}^3$  от фиг.5 отчитаме  $V_{is}^{Дъб} = V_{is}^{Бор} = 5 \text{ m}$  и обратно - за избрана видимост  $V_{is}$  може да бъдат отчетени съответните стойности за  $C_m^{Дъб}$  и  $C_m^{Бор}$ .

От фиг.5 се вижда, че минималната видимост от 1 m се постига при масова концентрация на сажди в дима: за бор  $C_m = 12,71 \text{ g/m}^3$ , за дъб  $C_m = 9,23 \text{ g/m}^3$ .

Съществува лесен и практичен способ за ориентация в условия на силно задимени евакуационни пътища.

За случая се препоръчва използването на лазерен показалец, с който изпадналият в опасната ситуация може да открие в коридора първо "водещата стена", а след това и евакуационния изход.



Фиг. 5

### Токсичността на продуктите от тлеене на борова и дъбова дървесина

Отделяният дим при пожар съдържа токсични газове, които могат да доведат до смъртен изход, ако дълго време изложеният на него човек е незащитен. В някои случаи и кратковременното отсъствие на защита от дима може да има летален изход.

Въглеродният окис винаги се съдържа в дима отделян при пожар и неговото присъствие е откривано често (до 40%) при аутопсия на загинали. Независимо, че този газ е един от многото потенциално токсични компоненти, намиращи се в дима на пожара, той почти винаги има по-висока концентрация от останалите токсични продукти и затова повечето смъртни случаи се свързват именно с неговата инхалация (Батчер, Е., А. Парнэлл, 1983).

При горене на дървесината се образуват: водни пари, топлина,  $\text{CO}_2$ , и  $\text{CO}$ . Освен това се образуват алдехиди, киселини и други газове. Бамбери привежда повече от 50 компонента отделящи се при термичната деструкция на дървесината (Батчер, Е., А. Парнэлл, 1983), които сами или в съчетание с водните пари оказват силно дразнещо въздействие на очите и дихателния тракт (<http://sea-library.ru>). Отчита се и недостига на кислород.

Потенциалните причини за намаляване на съдържанието на  $\text{O}_2$  в газовъздушната смес при пожар са: изместването му от друг газ, консумация на  $\text{O}_2$  при горенето, окисление, експлозия или химическа реакция (Михайлов, М. и др., 2009).

Въглеродният диоксид е задушлив и слабо отровен газ. Той се отделя в значителни количества при горене. Признаци на отравяне, болки в главата, както и обща отпадналост се наблюдават при концентрации в границите на 7 ÷ 8%  $\text{CO}_2$ . При концентрация на  $\text{CO}_2$  от 20% за много кратко време настъпва смърт (Михайлов, М. и др., 2009).

Ако обгазеният не е изгубил съзнание (при концентрация 10%  $\text{CO}_2$ ), след извеждането му в чиста въздушна среда вредното въздействие на  $\text{CO}_2$  изчезва (Михайлов, М. и др., 2009).

**Основното токсично вещество при горене на дървесина и целулозни материали е  $\text{CO}$**  (Баратов А. Н. и др., 1988).

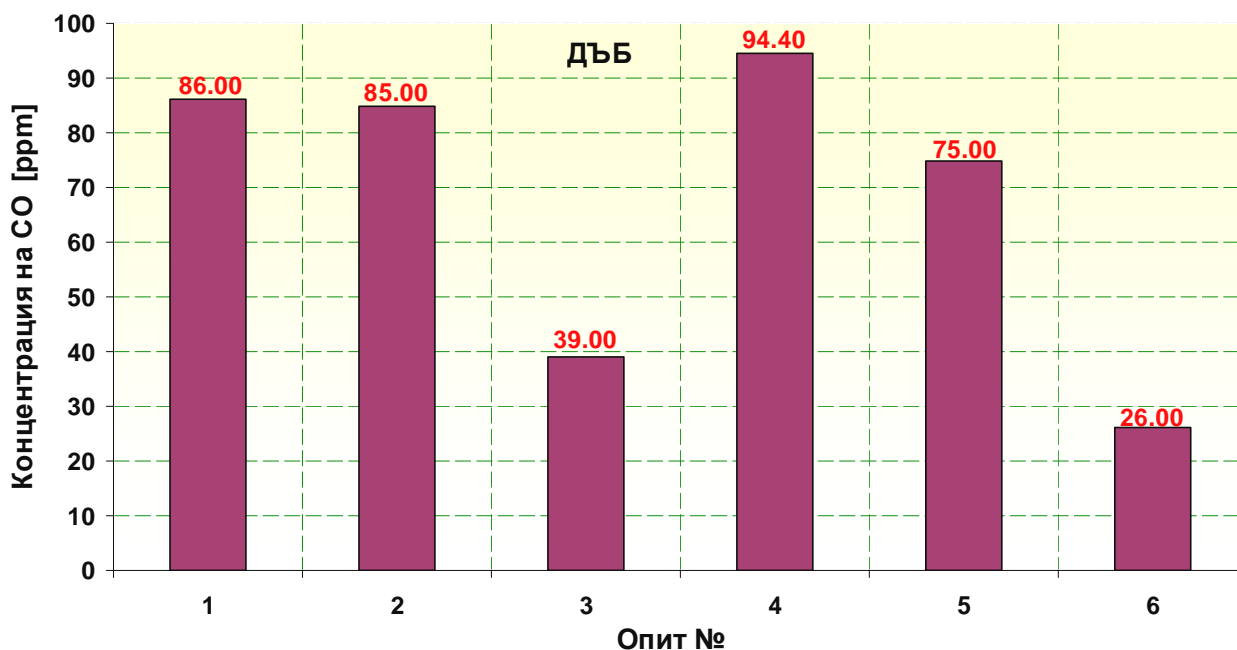
Въглеродният оксид се явява продукт на непълно изгаряне на въглища, дървесина и др. продукти на въглеродна основа. Освен това, той се образува вследствие на взривни работи, при работа на дизелови двигатели, експлозия на въглищен прах или газ (Михайлов, М. и др., 2009).

Въглеродният оксид е силно токсичен газ. Установено е, че престоят от 5 min в атмосфера съдържаща 1%  $\text{CO}$ , може да предизвика загуба на съзнание, а след това и смърт за много кратко време (Батчер, Е., А. Парнэлл, 1983). Разбаш е измерил концентрацията на  $\text{CO}$  при няколко експериментални пожара и е отчетел, че тя може да достигне почти 10% (Батчер, Е., А. Парнэлл, 1983).

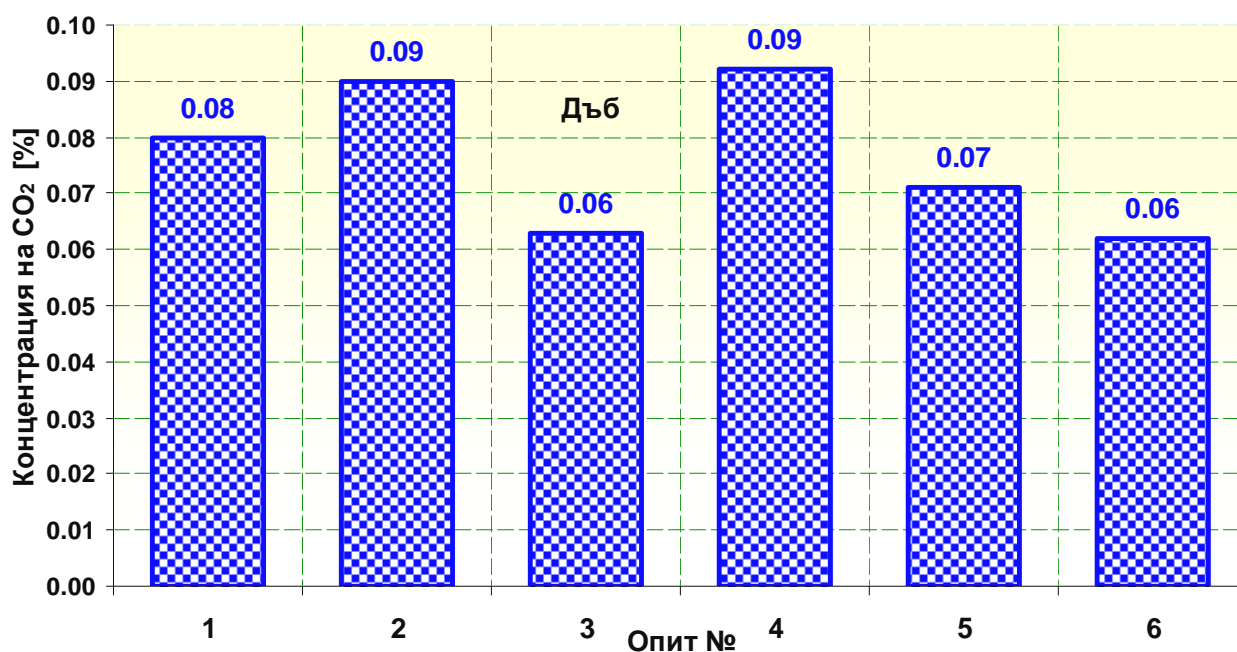
Токсичното му действие се проявява при проникване през дихателната система в организма, като го уврежда в две направления:

- $\text{CO}$  се свързва с хемоглобина в кръвта и намалява нейния афинитет към кислорода. Образувалия се карбоксиемоглобин ( $\text{HbCO}$ ) е много по устойчиво съединение от оксиемоглобина;
- блокира ензимните системи в клетките, например цитохромоксидазата, която отговаря за обмяната на кислорода.

Тези факти илюстрират необходимостта от оценка на добива и токсичността на продуктите отделяни в димната камерата, при тлеене на борова и дъбова дървесина. Резултатите от изследванията са показани на фиг.фиг.6-11.



Фиг. 6.



Фиг. 7.

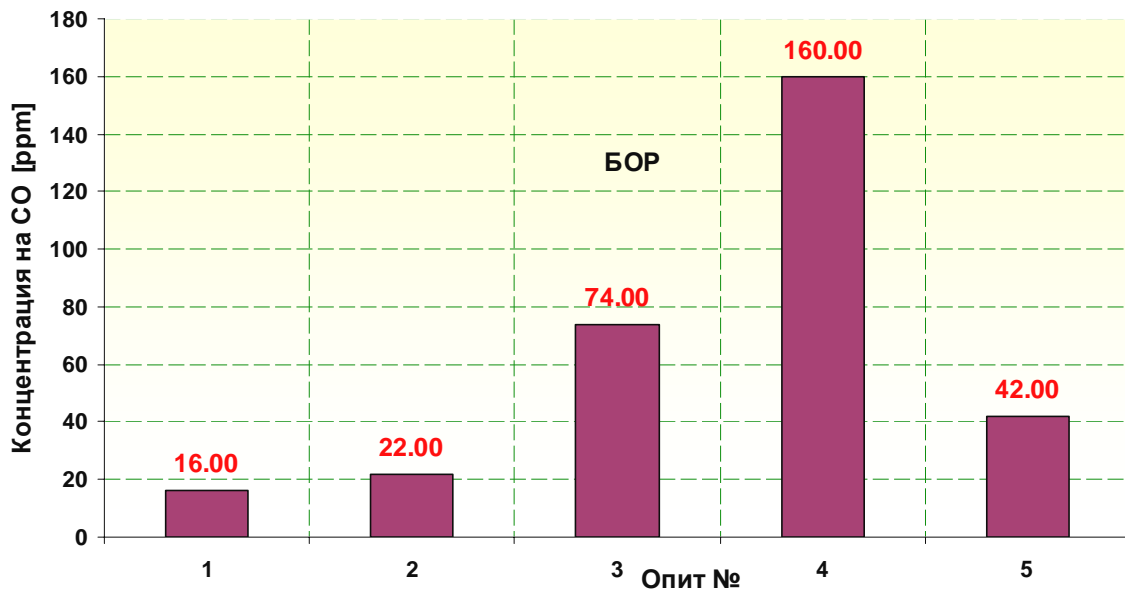
За образците от дъб най-голям добив от СО 94,4 ppm се е получил при четвърти опит (фиг.6), а максимума за СО<sub>2</sub> от 0,09 % (фиг.7) е получен при втория експеримент.

На фиг.6 и фиг.7 се наблюдава "устойчивост" на концентрациите на СО и СО<sub>2</sub> за образците от дъб, което намалява вероятността от неочакван по-голям добив на компонентите в условията на реален пожар.

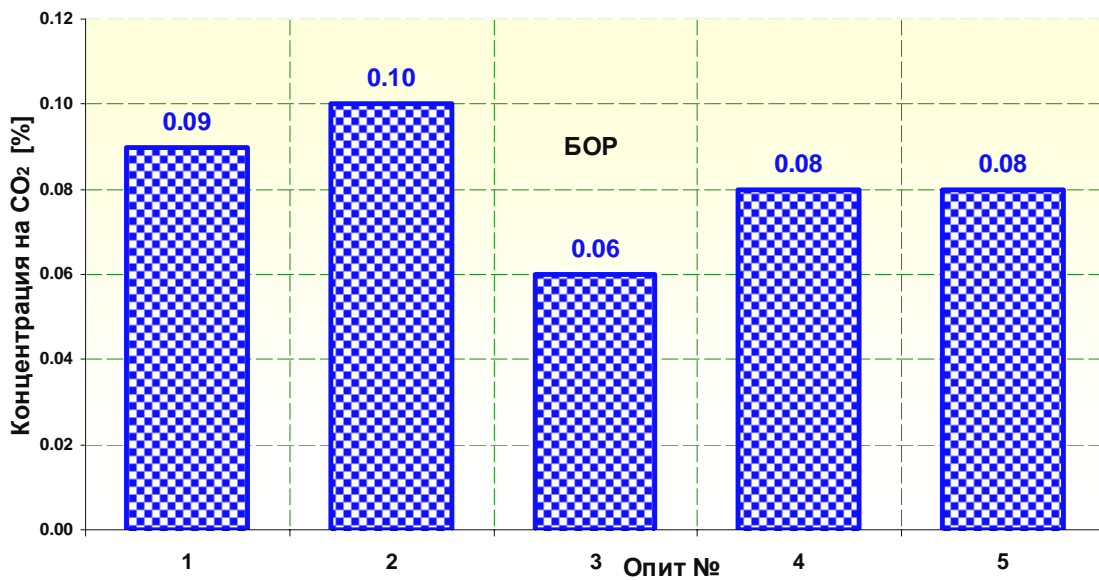
За образците от борова дървесина най-голям добив от СО 160 ppm се е получил при четвърти опит. Вижда се обаче (резултатите от опитите - фиг.7), че не съществува

корелация, което е вследствие нееднородността на засмояванията при борвите проби.

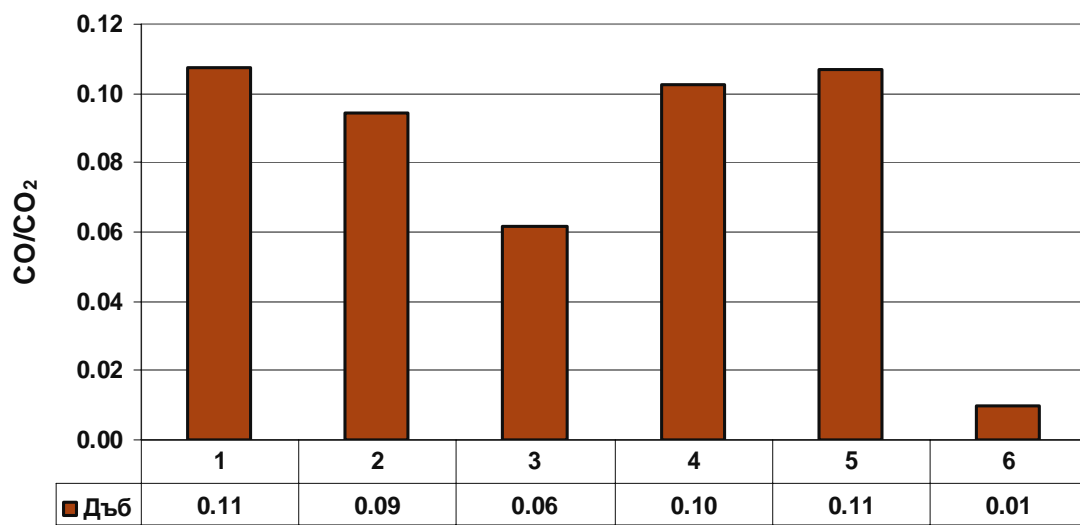
Максималната стойност за СО<sub>2</sub> от 0,1 % при борвата дървесина се е получила при втория експеримент. Аналогично, на експериментите с дъбовите проби и тук (фиг.9) се наблюдава "устойчивост" в показанията, което показва че процентното съдържание на СО<sub>2</sub> и при двата вида дървесина слабо се влияе от естествените различия в състава и структурата на опитните образци на дървесината.



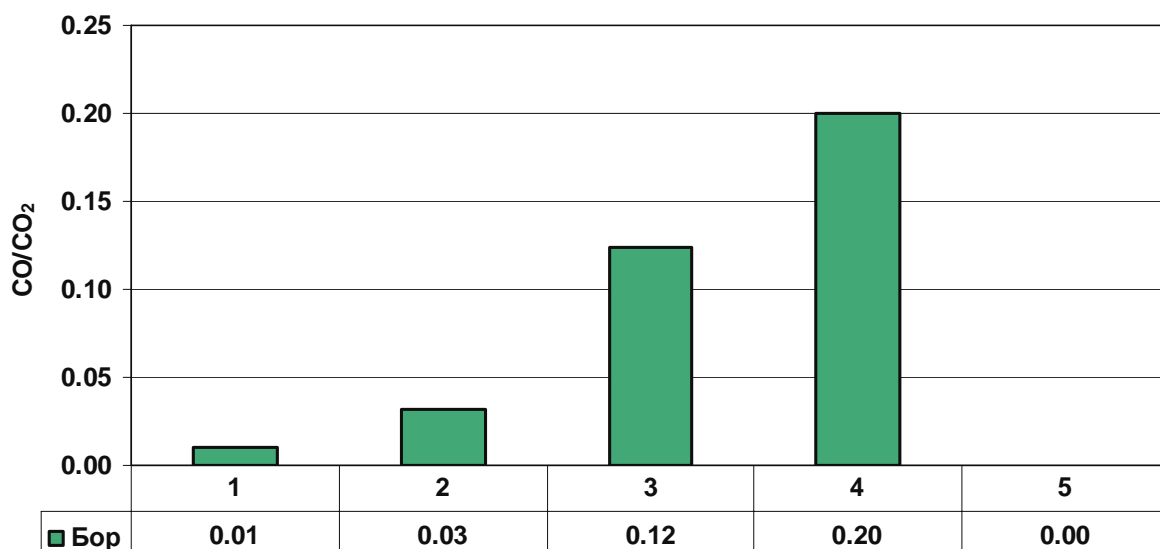
Фиг. 8.



Фиг. 9.



Фиг. 10.



Фиг. 11.

## Заклучение

Резултатите от настоящото изследване са съпоставени с резултати от експерименти проведени в (Egan, M.R.). Прави впечатление, че отчетеният показател фиг.5 за масова концентрация на сажди в дима при условия на тлеене:

$$C_m^{Дъб} = 1,85 \text{ g / m}^3 \text{ и } C_m^{Бор} = 2,54 \text{ g / m}^3$$

за видимост  $V_{is} = 5 \text{ m}$ , се отличава от същия получен в (Egan, M. R.) -  $M_0 = 0,0508 \text{ g / m}^3$  отново в условия на тлеене.

Разликата се явява вследствие различните условия на опита – с течение на времето в димната камера се натрупва добива на дим и на концентрацията му, при постоянен обем без вентилация. При опитите на Margaret Egan опитите с минни материали и дървесина са проведени за условията на подземните рудници и модела на пожарна щолня (средномащабен тунел) е вентилиран. Проточната вентилация разрежда дима, като намалява концентрацията на всички негови компоненти. Добивът на продукти на горенето при двете опитни постановки трябва да е близък, но не еднакъв, заради различния приток на кислород в зоната на тлеене – в пожарното огнище.

Получените резултати в "Научно приложния институт по пожарна безопасност и спасяване – МВР" се доближават до реалните пожарни условия (например в коридор, избено и таванно помещение) на сграда без изкуствена и пренебрежима естествена вентилация.

Средната стойност на резултатите за концентрация на СО от експериментите проведени с дъбова и борова дървесина са 68 ppm и 63 ppm. Те са съпоставими с аналогичния резултат 43 ppm публикуван в (Egan, M. R.).

Няма данни за отношението CO<sub>2</sub>/CO в (Egan, M. R.).

При анализа на токсичността на дима от тлеене на дървесина трябва да се отчита и съвместното влияние на СО и СО<sub>2</sub>. Въглеродния диоксид учестява дишането и намалява безопасната експозиция (време на пребиваване) на човека в среда с повишено съдържание на СО.

Концептуално има съвпадение и в извода, че най-лесно се откриват продукти на горенето (газове и димни частици) за тествани запалими материали при условия на беспламно горене – тлеене.

Димът и токсичните газове в него материали допринасят за паника и затрудняват евакуацията в условия на пожар.

Димът намалява (замъглява) видимостта и затруднява дишането, докато токсичните газове физически омаломощават и дезориентират попадналия в тези условия човек.

Въпреки това, вредните емисии могат да бъдат използвани за откриване на пожара в начален стадий.

Проведено е изследване за определяне на димообразуващата способност на дъбова и борова дървесина, предложен е лесен начин за определяне на видимостта в условия на беспламно горене и е оценена токсичността на продуктите на горенето при условия на тлеене.

Данните от настоящите проучвания ще послужат за определяне на ефективността за диагностициране със сензорни устройства на отделяните продукти при беспламно горене на дъбова и борова дървесина.



## Литература

Стоянов А., Ал. Крилчев, М. Михайлов, *Определяне на термодинамичните периоди на самозапалване на борова и дъбова дървесина*, Международна научна сесия, 19-20 октомври 2011г., София, България.

*Методика за експериментално определяне на масовата оптическа плътност на дима от дървесина в режим на тлеене и пламъчно горене* 1983, С.

Баратов, А. Н., Р. А. Адрианов, А. Я. Корольченко, Д. С. Михайлов, В. А. Ушаков, Л. Г. Филин, 1988, *Пожарная опасность строительных материалов*, Москва Стройиздат.

Строй консултант 2.1, 1999, *информационно-поисковая система с текстами действующих нормативных документов*.

Husted B. P., 2004 *Optical smoke potential of different products*, Danish Institute of Fire and Security Technology.

Dr. Wang Q., K. Ma & M. Lundqvist, November 2003.

*CFD Applications of PHOENICS on Building Environment and Fire Safety Design*, Sydney, Australia.

Husted, B. P. and D. Westerman, June 2009, *ARGOS Theory Manual*.

Михайлов, М. и др., 2009, *Дихателна и топлинна защита*, С.

Батчер, Е., А. Парнэлл, 1983 *Опасность дыма и димозащита*, М., Стройиздат.

*Класификация пожаров Класс А*, <http://sea-library.ru>.

Egan, M. R. *Summary of Combustion Products*.

*From Mine Materials: Their Relevance to Mine Fire Detection*, BUREAU OF MINES.

Препоръчана за публикуване от Катедра  
"Руднична вентилация и техническа безопасност", МТФ