



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ
ИНЖЕНЕРНО ПЕДАГОГИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ- СЛИВЕН
КАТЕДРА "МЕХАНИКА, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТОПЛОТЕХНИКА"

маг. инж. КАМЕН ЦВЕТАНОВ ГРОЗДАНОВ

МОДЕЛИРАНЕ НА ПОЖАР ПРИ АВТОПРОИЗШЕСТВИЕ С ЦЕЛ
ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА СЪБИТИЕТО

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователната и научна степен
„ДОКТОР”

Област 5 Технически науки

Професионално направление: 5.1 Машинно инженерство

Научна специалност: Механика на флуидите

Научени ръководители:

проф. д.т.н. Иван Антонов

проф. д.т.н. Станислав Карапетков

2017

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра "Механика, машиностроене и топлотехника" към Факултет Инженерно педагогически–Сливен на ТУ София на редовно заседание, проведено на 13.07.2017г.

Публичната защита на дисертационният труд ще се състои на 18.10.2017 от 15.30 часа в зала 1207, на ИПФ Сливен на ТУ-София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-271/ 14.07.2017г. на Ректора на Техническия университет-София в състав:

1. проф. д.т.н. инж. Иван Славейков Антонов- научен секретар
2. доц. д-р инж. Ангел Костадинов Терзиев – председател
3. проф. д-р инж. Петър Стефанов Костов
4. проф. д-р инж. Милчо Стоянов Ангелов
5. доц. д-р инж. Иван Тодоров Тодоров

Рецензенти:

1. проф. д-р инж. Милчо Стоянов Ангелов
2. доц. д-р инж. Иван Тодоров Тодоров

Материалите по защита са на разположение на интересуващите се в учебен отдел на ИПФ Сливен стая 200

Дисертантът е задочен докторант към катедра "Механика, машиностроене и топлотехника" към Инженерно педагогически факултет- Сливен. Изследванията по Дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Камен Цветанов Грозданов

Тема: МОДЕЛИРАНЕ НА ПОЖАР ПРИ АВТОПРОИЗШЕСТВИЕ
С ЦЕЛ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НА СЪБИТИЕТО

Тираж: 30 броя

Издателски център на Технически университет-София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Актуалност на темата

Производството на съвременните автомобили е с все по-големи изисквания относно пасивната безопасност на автомобилите. Пасивната безопасност на автомобила се осигурява чрез изпълнение на комплекс от изисквания към конструкцията му, целящ намаляване на травматизма и смъртните случаи на участниците в пътнотранспортните произшествия.

Посочените статистически данни показват причините и факторите за възникване на пожари в пътно транспортни средства. За посочения период 2010-2014г., пожарите в пътнотранспортни средства са резултат възникнало на пътно транспортно произшествие, при техническа неизправност по електрическата, отоплителната, гориво-подаващата, газова и др. системи.

Според направеното литературно проучване преобладават разработките, свързани с изследването на пожари на автомобили в ограничени пространства (гаражи). В [131], [132] и [133] е представена информацията относно възможностите за възникване на пожари в ограничени пространства, оценка на риска, както и предложения за превантивни действия.

Все по-често в литературата (последните десетилетия) могат да бъдат открити разработки относно числено моделиране на пожари при автомобили. С напредването на изчислителната техника използването на CFD става все по-популярно при охарактеризирането на горивния процес при автомобили. Различни софтуерни приложения (CFX, Smartfire, FDS) се използват за изследване на комплексни горивни процеси [135] и [136]. В [137] са показани редица експериментални изследвания при горенето на самостоятелен автомобил и при пренос на пожара към съседен. Изследвани са продуктите при горене при автомобилите, както и количеството отделена топлина посредством калориметричен метод за количество консумиран кислород. Аналогични експериментални изследвания са показани в [138] и [139], където обект на изследване са няколко горящи автомобила. В [140] са представени експериментални данни относно температурата на димните газове при горене на автомобил и повърхностната температура на автомобила.

Като основен недостатък към проведените по-горе експериментални изследвания могат да бъдат посочени малкият брой точки на измерване на температурата на горящия автомобил. По този начин не може да се получи пълна представа за динамиката на разпространение на пожара от точката на възникване към отделните зони на автомобила. Наред с това е трудно да се определи и

интензивността на преноса на топлина от горящия автомобил към съседни такива, както и да се оценят възможностите за неговото запалване.

2. Цел, обект и предмет на изследването

Цел на дисертационния труд е теоретично и числено изследване развитието на пожар при пътно транспортни средства на основно съставен математически модел и потвърждаването му с натурен експеримент.

Необходимостта от научна и методическа подкрепа на експертно проучване на пожари особено актуално в момента. По този начин, за изясняване на причините за пожара са от основно значение за всяка застрахователна компания. Резултатите от тези проучвания могат да се прилагат за идентифициране на причините за пожар при на пътнотранспортни средства.

Получаване и доказване по опитен път на нови факти относно възникването и развитие на пожар при моторни превозни средства.

Доказване с нови (опитни и теоретични) средства на съществени нови страни в съществуващ научен проблем относно възможността за пренос на пожар към близко стоящи моторни превозни средства.

Прилагане на нови средства на изчислителна механика на флуидите при симулация на пожари при автомобили.

Нов комбиниран метод за експерименталните изследвания на пожари при автомобили с използване на съвременна апаратура.

Обект на изследване на докторския труд е създаване на доказани експериментални методи на развитие на пожар при лек автомобил с цел неговата идентификация.

Предмет на изследването е пожар възникнал при лек автомобил (на паркинг, в движение, или при ПТП) в процеса на неговото развитие и разпространение в обективната среда (към близко стоящи МПС, постройки и други горими обекти).

С проведените експерименталните тестове се потвърждават резултатите от изследванията при пожари причинени умишлено върху пътното транспортно средство.

3. Основни задачи на дисертационния труд

Изследване чрез интегрален метод разпространението на пожар при наличие на хоризонтално въздушно течение (вятър).

Изчисляване времето на запалване на близко стоящ автомобил при наличие на лъчист (радиационен) топлообмен.

Прилагане на симулационни модели за изчисляване развитието на пожар при автотранспортни средства.

Валидиране на резултатите от проведеното математическо и числено изследване с експериментални данни.

Доказване чрез провеждане на собствен натурен експеримент валидността проведеното математическо и числено изследване.

Провеждане на пълномасщабно експериментално изследване за определяне на времето за запалване при възникване на пожари в пътно транспортни средства.

4. Научни приноси и практически резултати

Разработване на методика за построяване на симулационни модели на времето и начина на разпространението на огъня при пътно транспортни средства.

Определяне на причините, условията и процесите на разпространение на огън при пътно транспортни средства.

Изясняване на обстоятелствата на възникване и разпространение на пожари при пътно транспортни средства.

5. Приложимост и полезност

Разработените методи на изследване на развитието и разпространението на пожар при лек автомобил чрез: интегрален и чрез числена симулация и програмен продукт „PyroSim“ позволяват пресмятане и анализи на причините за възникване събитието.

Точността на методите е доказана чрез проведения натурен експеримент и показва възможност за използване при анализ за последствията и съответните експертизи.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА ПЪРВА

КРАТЪК ОБЗОР НА СЪВРЕМЕННОТО СЪСТОЯНИЕ НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА

При пътнотранспортни произшествия пожарите са една от основните причини, представляващи опасност за хората и окръжаващата среда. Повредите във възлите и системите при пътнотранспортните произшествия спомагат за бързото разпространение на пожара, като при заклинявания на вратите на пътното транспортно средство, както и други детайли от купето, получените травми на хората възпрепятстват осъществяването на бърза евакуация от транспортното средство.

Всяка държава от ЕС води вътрешна статистика за броя на възникналите пожари, като към тях се числят и тези възникнали в превозните средства. През последните години се изготвят обобщени статистики, които сравняват ситуацията в повече от една държава, например - в държавите членки на Европейския съюз. Това дава възможност да се извършват съвместни научни изследвания за установяване причините за пожари, както и създаване на норми за безопасност.

В доклад от началото на 2012 година е направен анализ на информацията, която се събира в различни държави-членки на Европейския съюз, вкл. Исландия и Ирландия. Информацията от тези проучвания се използва от правителствата, академичните общности, застрахователни компании, противопожарните служби, индустрията и др. В документа България е посочена като една от страните, в които се събира висококачествена и обстойна информация за причините и обстоятелствата около пожари, което е предпоставка за създаването на добри практики.

Производителите на съвременните автомобили въвеждат нови материали, системи, сензори с цел увеличаване на комфорта и безопасността на пътниците в превозните средства. Всички тези устройства и материали повишават сигурността на пътниците, но в същото време затрудняват спасителните екипи при изваждане на пострадали от автомобил след пътно транспортно произшествие /ПТП/.

Новите технологии в автомобилостроенето са в две насоки на развитие: системи за безопасност и прилагане на нови материали и конструкции.

Безопасността на пътниците в автомобила при катастрофа е основна цел на автомобилостроенето в последно време.

ГЛАВА ВТОРА

ПРОВЕЖДАНЕ НА НАТУРЕН ЕКСПЕРИМЕНТ. ИЗМЕРВАТЕЛНА ТЕХНИКА. ОСНОВНИ РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗИ

Провеждането на натурен експеримент е необходимо по две основни причини: Първата е „познавателна“ с цел да се получи задълбочена и всеобхватна информация за развитие на пожар при автомобили. На второ място е съпоставяне на опита с резултатите от теоретичните и числени решения по въпроса за доказване тяхното приложение при решаване на подобни задачи.

Натурния експеримент се провежда с лек автомобил VW Golf, модел Pasat в напълно изправно състояние производство 2000г.

Автомобила е доставен на самоход в (движение), позициониран (паркиран) върху бетонна повърхност на полигон на Отдел “Център за изследвания и

експертизи“ при Главна дирекция „Пожарна безопасност и защита на населението“ (ГД ПБЗН), в района на село Лозен.

На разстояние 0,8m е позициониран лек автомобил “ Peugeot “ за измерване и наблюдение на разпространението на пожар към съседен автомобил.

Всички врати и прозорци на автомобилите са затворени по време на експеримента. Таблото в купето е със стандартно оборудване, вратите и седалките са тапицирани с плат, тавана на автомобила е от пластмасов материал.

Вид на горивото: Бензин-газ, като от резервоарите е източено гориво и са запълнени с вода с цел недопускане на възпламеняването им и образуване на взривоопасни смеси.

За настоящият експеримент се използват термодвойки 16 на брой с работен диапазон до 1200°C , и възможност за запис на данни в интервал от 1 min.

Параметрите, които се регистрират по време на експеримента ще бъдат направени на открито при атмосферни условия (температура на околната среда, скоростта на вятъра, влажност и др.).

Основни метеорологични данни (външна температура, скорост на вятъра, атмосферно налягане и други) се записват непосредствено преди и по време на провеждане на натурния експеримента. Използва се следната измервателна техника.

Мултифункционален измерител Testo435-4 със сонди за измерване и запис на въздушния поток, влажност, температура, и качество на въздуха (IAQ) показания. С включен софтуер ComSoft, тези данни могат да бъдат организирани по местоположение и анализират.

Сондите измерват следните характеристики: термична сонда за скорост с вграден опция за измерване на температура и влажност, 0,5 инча, с телескопична дръжка с обхват на измерване 0-3937 FPM / 0 до 20m /s, , точност $\pm (5.90 \text{ FPM} + 5\% \text{ от MV}) / \pm (0,03 \text{ м / с} + 5\% \text{ от MV})$ и IAQ сонда за оценка качеството на въздуха, CO 2 , влажност, температура и измерване абсолютно налягане обхват на измерване 0 до 984 FPM / 0 до 5m /s, точност $\pm (5.90 \text{ FPM} + 4\% \text{ от MV}) / \pm (0,03\text{m} / + 4\% \text{ от MV})$.

Получените резултати от измерванията се обработват с помощта на компютърната програма Microsoft Excel.

Инфракчервена камера FLIR E40 (Фиг.2.3). Технически параметри: 160 x 120 IR резолюция. Пространствена резолюция: 2.72 mrad. Термочувствителност: <0.07°C. Температурен обхват -20°C до +650°C. Спотметър: 33 boxes with min./max./average. Измерване на температурна разлика -3.1 Mr цифров

фотоапарат и една LED светлина. Bluetooth® / WiFi-1-2x цифрово увеличение. IR област върху реалното изображения.

Квадрокоптер дрон с професионален клас камера и оптика - висококачествен обектив и оптичен сензор които позволяват 2.7K (до 30к/с) запис на видео и 12Mрix снимки. Снабден с ново поколение централен полетен контролер, който следи, събира и анализира, в реално време, постъпващата информация от всички датчици и системи (GPS, обороти на моторите, напрежения и др.) и контролира адекватно дрона спрямо променящата се условия при полет. Следи и записва на видеото в реално време с вградената FPV поддръжка и HD 720p видео стрийминг към таблета. Обхватът на видео сигнала и управлението на дрона е до 2000m.

При изпитването са използвани 16бр. термодвойки тип „K”. Те са свързани към 2 броя многоканални цифров термометри ТС6800, със серийни номера съответно 01648 и 01729 (Фиг.2.6).

Уредите са с обхват (0÷1200)°C и притежават свидетелство за калибриране съответно № 18А/12.01.2016 г. и № 19А/12.01.2016 г., издадени от фирма "Интерлаб" АД.

Уредите са свързани с преносим компютър Asus с помощта на сериен порт RS 486. За измерването е използван лицензиран софтуер „PolyMonitor” за визуализиране и архивиране на данните от измерването.

С негова помощ данните от измерванията се визуализират на екрана по време на изпитването и се архивират във файл на всеки 30 s.

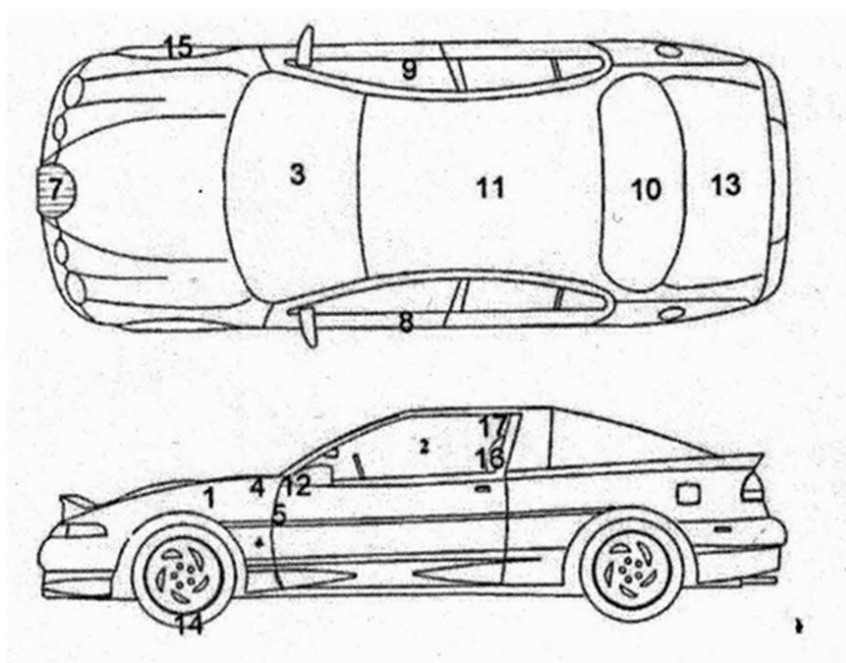
Автомобилите подготвени за експеримента са разположени по средата на полигона с цел отстояване от горими материали на безопасно разстояние (Фиг.2.8).

Техниката и апаратурата, която се ползва за записване на данни по време на експеримента са разположени на 15m от горящите леки автомобили.

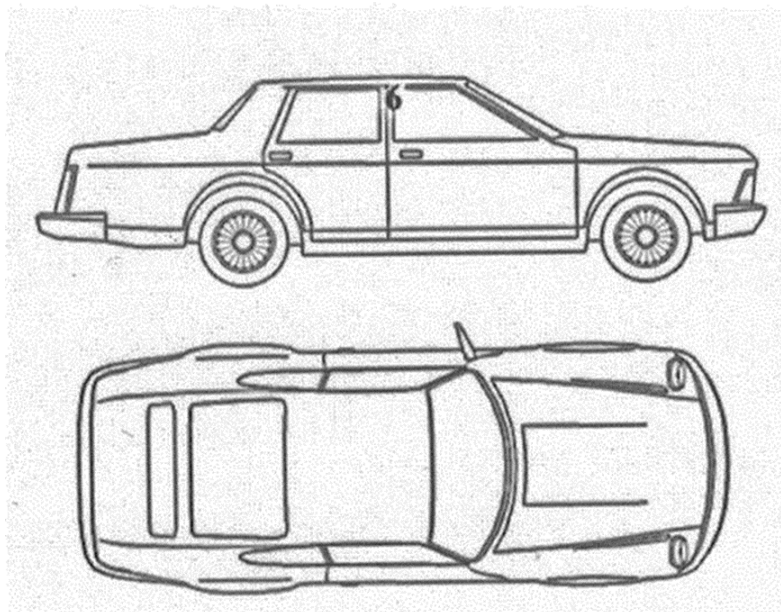
Осигурен е преносим електрически генератор защитен в рисковата зона от открити пламъци, източници на искра.



Фиг. 2.8 Лек автомобил подготвен за експеримента на полигон на отдел “Център за изследвания и експертизи” при ГД „ПБЗН“



Фиг. 2.9 Разположение на термодвойки подготвени за експеримента
1-двигателен отсек, 2-купе вътрешен покрив, 3-предно стъкло, 4-горивни
маркучи, 5-табло бушони, 7-ключалка преден капак, 8-врата предна лява, 9-
врата предна дясна, 10-задно стъкло, 11-купе под, 12-арматурно табло, 13-
капак багажно отделение, 14-автомобилна гума предна лява, 15-автомобилна
гума предна дясна, 16-предна лява седалка



Фиг. 2.10 Разположение на термодвойка № 6 на предна лява врата към близко стоящ лек автомобил на разстояние 0,8m

По време на експеримента се измерват основните параметри на околната среда-атмосферно налягане, относителна влажност, скорост и температура на въздуха. Измерванията са отчитани през 30s, започвайки от времето на пълното развитие на пожара.

Атмосферното налягане (Фиг.2.11),се запазва почти постоянно по време на експеримента, като се мени незначително със слабо изразена тенденция към намаляване от 925 hPa до 924 hPa. Промяната не е в резултат от наличие на огнище на пожар.

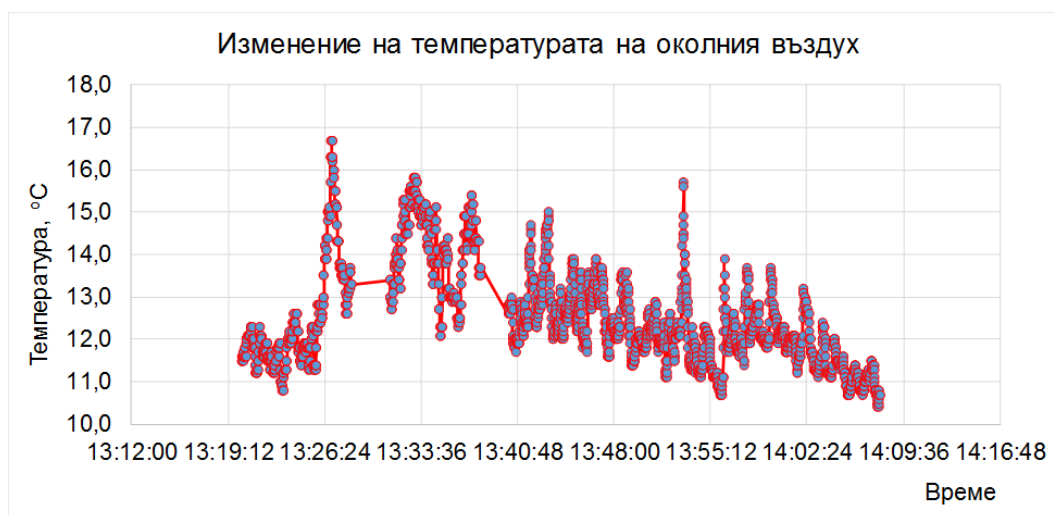


Фиг. 2.11

Скоростта на вятъра (Фиг.2.12), както и температурата му имат силно изразен турбулентен характер. Скоростта се мени в интервала от 0 до 5m/s, при отчетена средна скорост около 2,8m/s. Температурата на въздуха (Фиг.2.13), се мени нерегулируемо по време на експеримента в границите 10⁰С до 16⁰С.



Фиг.2.12



Фиг.2.13

От получените параметри на околната среда може да се твърди, че тяхното изменение зависи слабо от температурата на пожара. Само в определени интервали по време от 13:26h до 14:02h, приема стойности по-големи от 12⁰С и една температурна разлика от $\pm 4^0$ С. Относителната влажност (Фиг.2.14) по време на интензивното горене (13:26h до 14:02h), спада от 60% до 98%. След като се повишава отново до начална стойност.

Основната посока на вятъра (северозапад-югоизток) “преминава” над огнището на пожара с което се обяснява изсушаването на въздуха за упоменатият интервал от време.



Фиг. 2.14

Резултати и изводи. Експерименталният пожар се предизвиква в 12,58 часа в с. Лозен, в двигателният отсек, чрез изгаряне на около (0,2ml) бензин за симулиране на разкъсан горивен маркуч. След запалване на двигателният отсек капака на двигателя се затваря.

Две минути от възникване на пожара се наблюдава задимяване от капака на двигателя, През петата минута плътността на дива проникващ от капака плътността намалява. Това означава намаляване интензивността на горивния процес с тенденция към затихване.

Като се изключи възникването на пожара от горивопроводите и изтичане на гориво от тях по не нагретите повърхности на двигателя, като причина за възникване на пожар може да се разглежда възникване на запалване от електрическата инсталацията.

Опита показва, че ограниченото количество на въздух в двигателният отсек не спомага за разпространението на запалването при недвижещ се лек автомобил

Измерените температури в първите 40min (Фиг.2.15) дават основание да се предположи, че не е възможно възпламеняване на горими материали в двигателния отсек както и разпространение огъня през технологичните отвори към купето на превозното средство.



Фиг. 2.15 Измерени температури в двигателния отсек в началото на теста

За времето от 10 до 20 min, проведените няколко опита да се предизвика горене от същото място под въздействието на впръскано гориво в двигателния отсек при затворен капак е неуспешно. Термодвойка №1 не регистрира повишаване на температурата в двигателния отсек (Фиг.2.17).



Фиг.2.17 Измерени температури в двигателния отсек в затворен капак.

След повторно запалване със същото количество бензин след 40min, дима над капака става по плътен със скорост на разпространение повече от 5m/s.

Температурата на газовете в първите 5min в затворените части от колата, както и над капака двигателя или на покрива, се повишават 155-480°C (Фиг.2.18).



Фиг.2.18



Фиг.2.19

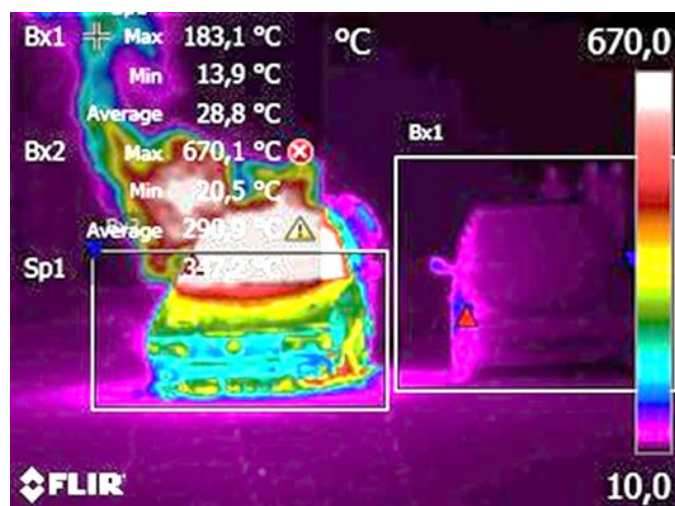
Повторно запалване на лек автомобил на полигона на отдел “Център за изследвания и експертизи”.



Фиг. 2.21 Интензивността на газообмена при отстраняване на заден десен прозорец на 60 min от стартиране на пожара

Получените резултати от натурния експеримент могат да се обобщят в следната последователност:

Твърдите вещества и течности образуват горими смеси само при определени температури. При съпоставяне на получената температура отчетена по термодвойките 250° до 600°C , поставени в салон пътници (Фиг.2.21, 2.22) се вижда, че за времето от 10-15min се достига температурата на възпламеняване от (180° - 240°C) на стелки, глави, седалка и др, с които са оборудвани автомобилите. При достигане на температурата на възпламеняване на горимите продукти, които се намират в отсек за двигателя и салон за пътници започва разпространение на пламъчно горене по неговите повърхности.



Фиг. 2.22 Максимална температура на повърхността на двигателния отсек измерена с инфрачервена камера за времето от 64 min



Фиг. 2.23 Температура на експеримент (пожар) в двигателен отсек



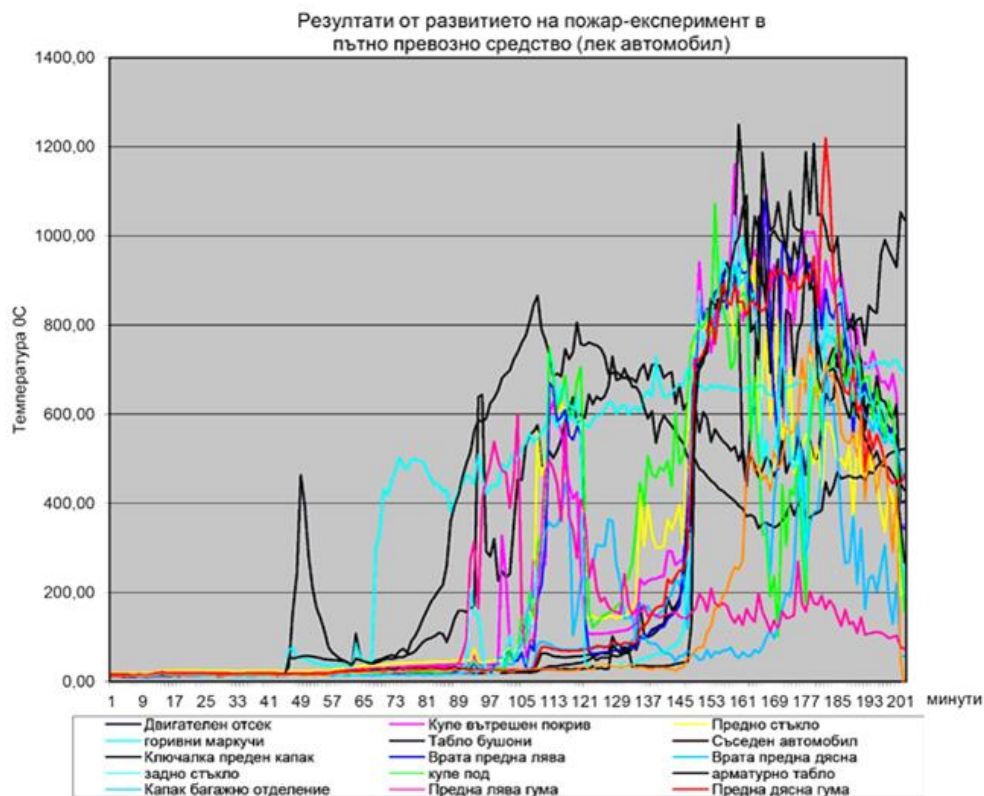
Фиг.2.25 Температура на експеримент (пожар) на предно стъкло



Фиг.2.26 Температура на експеримент (пожар) в салон пътници-под



Фиг. 2.32 Резултати от измерване на температурата от горящия автомобил, към разположен в близост друг автомобил..



Фиг.2.28 Температури измерени с термодвойки при пожар експеримент

ГЛАВА ТРЕТА

ОСОБЕНОСТИ НА ПОЖАРИТЕ, ВЪЗНИКВАЩИ ПРИ МОТОРНИТЕ ПРЕВОЗНИ СРЕДСТВА

Независимо от сценария на развитие на пожара, основен параметър при пожарите в леки автомобили е температурата на огнището на пожара. Под температура на външен пожар се разбира температурата на пламъка от пожара, която е в основата на определяне на топлинното излъчване, а от тук на възможността на разпространение на пожара с определена посока и скорост на развитие.

За приложение на резултатите от изследването на пожари в леки автомобили в практиката интерес представлява процеса на разпространение на огъня от един горящ автомобил към разположени в близост други автомобили. Разпространение на горенето от един към друг обект (автомобил) може да се осъществи при директно въздействие на пламъците или вследствие на въздействието на конвективен и лъчист топлообмен.

Радиационния (лъчистия топлообмен) се предава през околния въздух към разположения в съседство друг автомобил или предмет.

Повърхностите на съседните обекти абсорбират част от излъчваната топлина и се загреват. Повишаването на температурата по този механизъм води до достигане на температурата на възпламеняване на горими детайли от съседния обект (автомобил) и в крайна сметка до разпространение на пожара.

Формираното възходящо газово течение има ясно изразен турбулентен характер, като промяната на скоростта, налягането, температурата и др..

Пожарите възникващи при леки автомобили било то при пътнотранспортни произшествия (ПТП) или умишлен палеж могат да се разглежда като конвективно неизотермично течение, разпространяващо се в свободна среда. Това налага отчитане на условията в тази среда температура и скорост на вятъра.

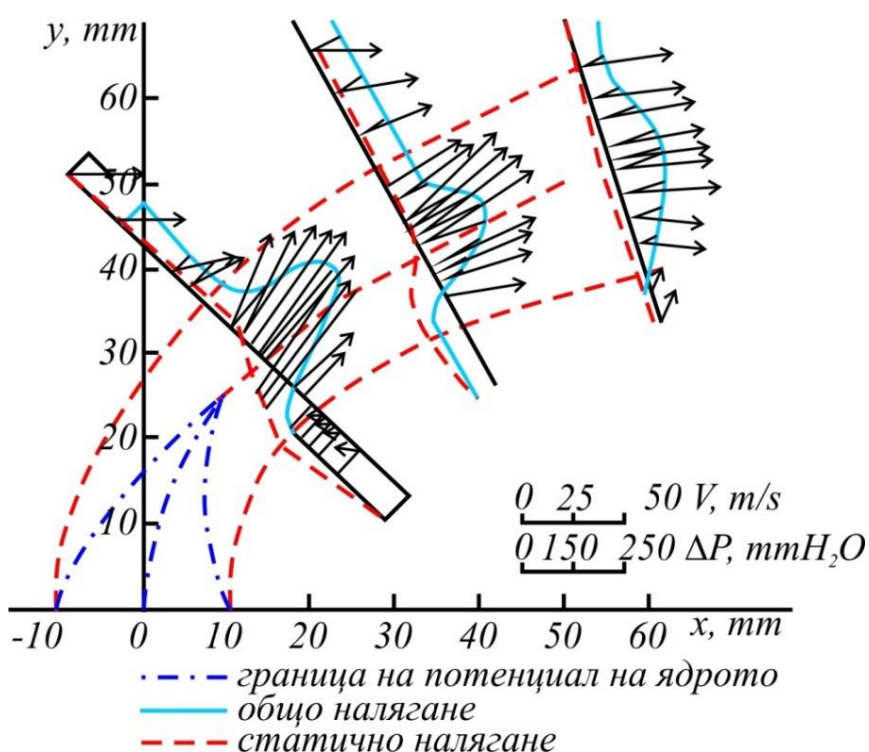
Моделира се възникване и разпространение на конвективна струя при въздействието на хоризонтално течение. Получените числени резултати позволяват да се направи преценка относно разпространение на пламъка и възможността при възникване на нови огнища на пожар.

Над огнището на пожара в свободно пространство възниква възходящо неизотермично течение. При безветрие, при спокойна околна среда, конвективната струя се издига във вертикално направление.

В случаите на вятър между него и неизотермичната струя се наблюдава взаимодействие, като траекторията ѝ се, изкривява и по посока на вятъра. Видът на едно подобно течение, съгласно [21] е даден на (Фиг.3.5).

Очевидно е, че резултантното течение придобива една криволинейна конфигурация, като на определено разстояние от началното сечение, скоростите стават тангенти към локалния радиус на кривата.

В настоящата работа се разглежда изкривяването на траекторията и възможността в този аспект огъня по конвективен път да се пренесе през прегради, пътища и към близко стоящи постройките, кои и др.



Фиг. 3.5 Граница на потенциалното ядро на неизотермичната струя

Измерванията на топлинния поток дават информация за възможността за разпространение на огъня към съседна кола. Експерименталните измервания на топлинния поток направени при дясна предна врати на 0.8m разстояние, съответстващо на типични разстояния до съседните паркирани коли (Фиг.3.5a)



Фиг.3.5а. Топлинен поток при 0.8m

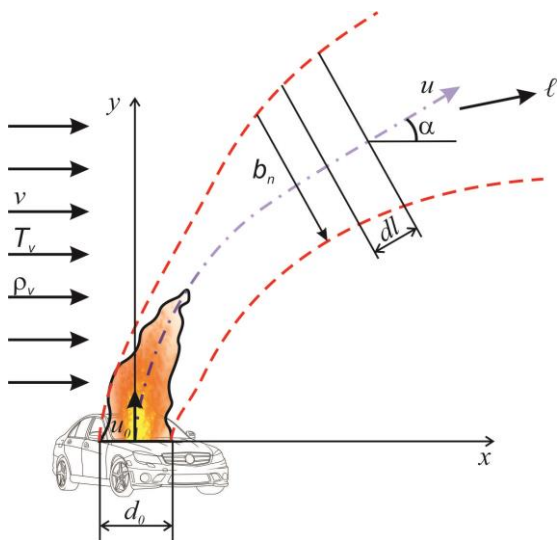
Максималният топлинен поток при 0.8m е $19-22 \text{ kW/m}^2$ в продължение на 4-13min. Максималният топлинен поток на разстояние 0.6m е 40 kW/m^2 в продължение на 3min остава 30 kW/m^2 , като за следващите 4-14min по време на експериментите. Тези нива са достигнати за 9-13 min след запалването.

Критичният топлинен поток, т.е. границата, над която материалът може да генерира достатъчно пари, които да образуват възпламенима смес за полимери обичайно използвани в автомобилната индустрия е в диапазона $10-20 \text{ kW/m}^2$.

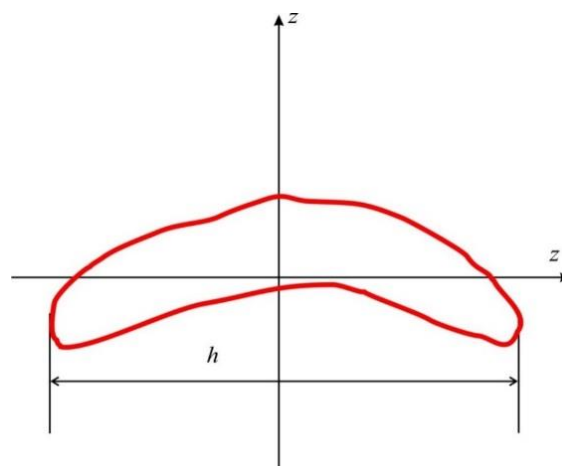
Приема се съгласно (Фиг.3.6) условна началната широчина на вертикално разпространяваща се неизотермична струя да е d_0 .

Разглеждането се прави в двумерна постановка в равнината $x-y$, като координата z е вертикално на фигурата. Началната скорост на изтичане (на формираната над пожара струя), се приема u_0 при температура T_0 и плътност ρ_0 . Вятърът има скорост V , температура T_v и плътност ρ_v .

Тъй като се изследва една сравнително ниска зона над земната повърхност, може да се приемат за постоянни параметрите на вятъра, като се пренебрегне и приземния граничен слой.



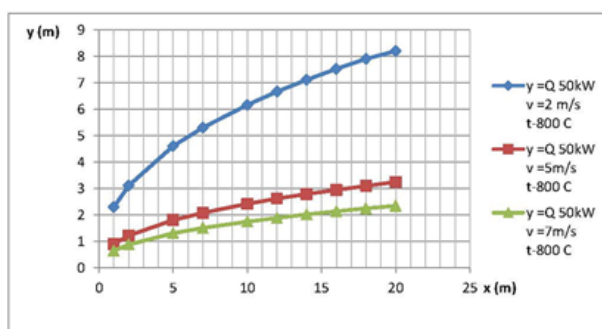
Фиг. 3.6



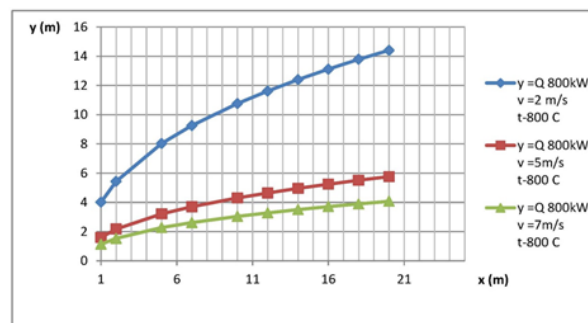
Фиг.3. 7

Изкривената ос на струята се означава с ℓ . Напречното сечение на струята се приема по известни опитни резултати [13] във вид на силно изкривена елипса с огънати краища, по направление на вятъра (Фиг.3.7).

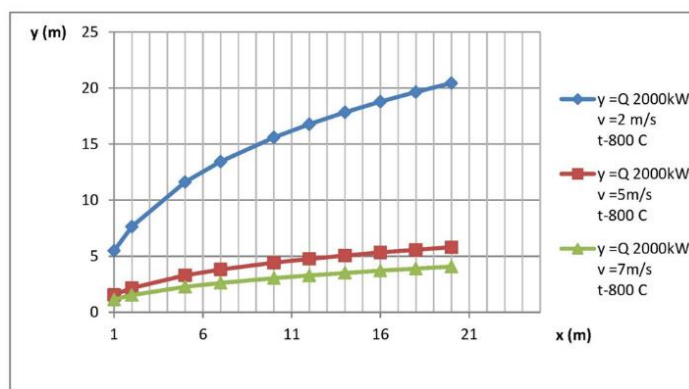
Резултати от численото пресмятане. На (Фиг.3.8, Фиг.3.9 , Фиг.3.10), е дадено разпределението на $y = y(x)$. Начални условия, при които е реализирано решението: $Q = 800kW$; $u_0 = 7,23$; $Q = 2000kW$; $u_0 = 8,68m / s$; $Q = 50kW$; $u_0 = 4,15m / s$; с начален условен диаметър $1,5m$, $v = 2,5$ и $7m / s$; $t = 800^0 C$



Фиг. 3.8



Фиг. 3.9



Фиг. 3.10

Изводи. При конвективен топлопренос опасност за запалване на близко стоящи обекти до горящи коли съществува при наличие на силен вятър от порядъка $>5\text{ m/s}$.

При ниска скорост на вятъра конвективната струя се изнася на голяма височина над огнището на пожар и трудно може да се предизвика запалване на паркирани наблизо автомобили.

Модел на течението. Основни зависимости. Разглежда се конвективна високотемпературна струя възникнала на огнище над пожар (горящ лек автомобил – Фиг.3.11). Този пожар може да е над горящ автомобил, в горски масив, битов пожар и пр. Мощността на пожара се определя по урав.3.5.

Атакуващият вятър със скорост изкривява оста на възходящото течение.



Фиг. 3.11. Движение на конвективни потоци при наличие на вятър.
Експериментална постановка – Технически университет

3.5

$$W_0 = 1,9^{1/3}, m/s$$

Изкривената от вятър ос на пожара приема показания вид на (Фиг. 3.6.). Дължината l , съгласно [3.21] се определя по зависимостта:

$$(3.30) \quad l = \int_{\delta}^x \sqrt{1 + y'^2} dx$$

където:

$$(3.31) \quad y'^2 = \frac{1}{kx + \operatorname{ctg}^2 \alpha_0}$$

където: α_0 – първоначалния, без въздействие на вятъра наклон на струята.

В настоящата работа разглежда ъгъла $\alpha_0 = 90^\circ$, респ. $d\alpha_0 = 0$,

$$(3.32) \quad k = \frac{\rho_{\text{вят}} W_{\text{вен}}^2}{b_0 \rho_{\text{см},0} V_0^2 \sin \alpha_0}$$

Като се има предвид, че при ъгъл $\alpha = \frac{\pi}{2}$, $\sin \alpha_0 = 1$ от което следва:

$$(3.33) \quad k = \frac{\rho_{\text{вят}} W_m^2}{b_0 \rho_{\text{см},0} V_0^2}$$

Основни параметри. Дебелината на струйния граничен слой (нарастване на широчината му по дължината на траекторията l се определя по израза:

$$(2.34) \quad b = \frac{d_0}{2} + 0,22l$$

Затихване на максималната скорост по уравн.3,32 и уравн.3,33, може да се пресметне по модифицирана зависимост.

$$(3.35) \quad \overline{u}_m = A_u n^{\frac{1}{2}} \left(\frac{l}{d_o} \right)^{-(j+1)/2}$$

където: A_u е интеграл получен при интегриране на напречното разпределение на скорост.

Затихването на плътността, респ. нейното относително нарастване дължината на изменената траектория l на плътностите в безразмерен се определя по израза;

$$(3.36) \quad \Delta \rho_m = \frac{\Delta \rho_m}{\Delta \rho_o} = A_p n^{\frac{1}{2}} \left(\frac{l}{d_o} \right)^{-\left(\frac{2}{3}j+1\right)}$$

В изразите (3.35), (3.36) е означено:

$$(3.37) \quad \begin{aligned} A_s &= 2,2; \quad n = \frac{\rho_{ок}}{\rho_0}; \\ \Delta \rho_m &= \rho - \rho_0 \\ \Delta \rho_o &= \rho - \rho_0 \\ \bar{u}_m &= \frac{u_m}{u_0} \end{aligned}$$

Фигуриращия в (3.35), (3.36) и степенен показател j приема стойност както следва: при плоска равнина струя (с широчината на горящата лента слой b_0) $j=0$; При осиметрични както е в разглеждания случай със сечение приблизително близко до кръгло начално сечение с диаметър d_0 $j=1$.

С помощта на (3.36), може да се определи температурата в дадено по ос l сечение на конвективната струя. Тъй като:

$$(3.38) \quad \overline{\Delta \rho_m} = \frac{\rho_{ок} - \rho_l}{\rho_{ок} - \rho_0}$$

решено относно ρ_l се получава:

$$(3.39) \quad \rho_l = \rho_{ок} - \overline{\Delta \rho} (\rho_{ок} - \rho_0)$$

С определената по (3.39) плътност в сечението се пресмята температурата на конвективната струя в съответното сечение

$$(3.40) \quad T_l = \frac{P}{\rho_l R}$$

където за P се приема $p = 10^5 \text{ Pa}$, $R = 287 \text{ T}(K)$

Резултати от числено пресмятане. От практическа гледна точка най интересни са случаите при висока скорост на вятъра ($w_m \geq 5 \text{ m/s}$), тъй като при тях може да се очаква следното:

-изкривяването на траекторията към земната повърхност, при което разширението на струята може да доведе до прилепването и до земната

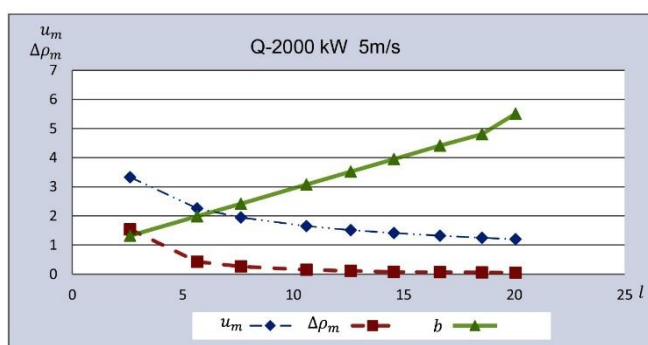
повърхност и оттам да се разпространява като полуограничено течение с всички произтичащи от това последствия.

На (Фиг.3.12, 3.13, 3.14, и Фиг.3.15) ,са дадени получените резултати от пресмятането на $l(x)$, $u_m(x)$, $\Delta\bar{\rho}(x)$. На разстояние по-голямо от $x \geq 10$ кривите за скоростта u_m и $\Delta\rho$ почти кривят към земната повърхност.

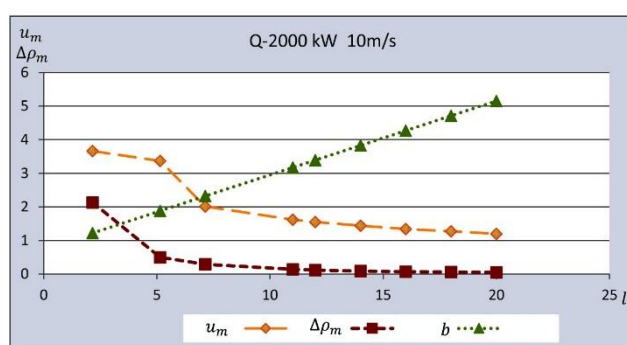
Затихването на температурата е дадено на (Фиг.3.16) за две стойности на мощността на пожар Q.

Фиг. 3.12 Резултати за $l(x), u_m(x), \Delta\bar{\rho}(x)$ при 2000 kW, 5 m/s., Фиг. 3.13

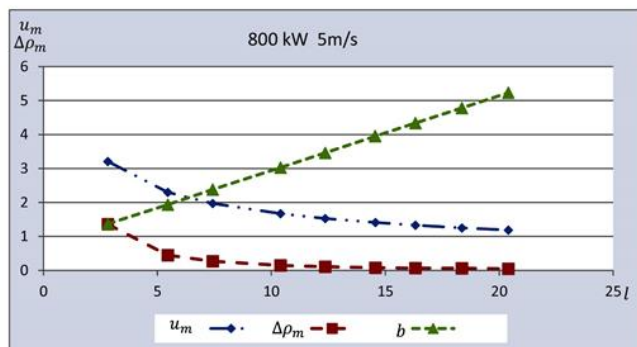
Резултати за $l(x), u_m(x), \Delta\bar{\rho}(x)$ при 2000 kW, 10 m/s



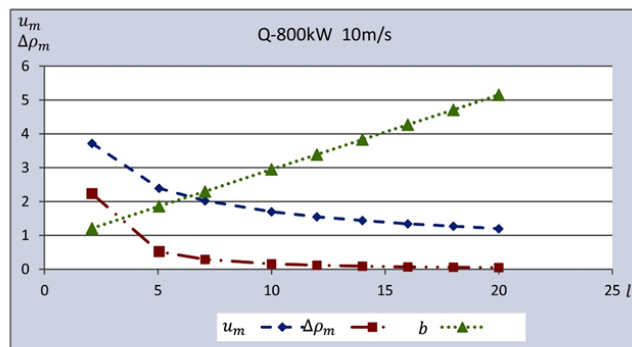
Фиг. 3.12



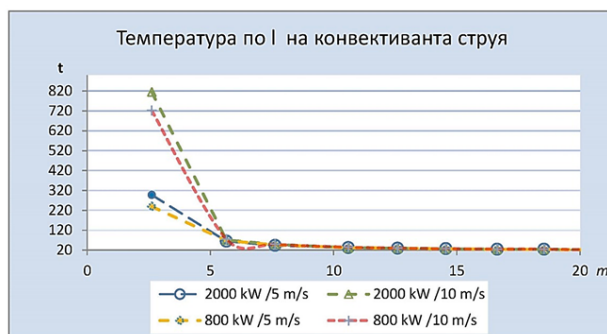
Фиг.3.1



Фиг.3.14

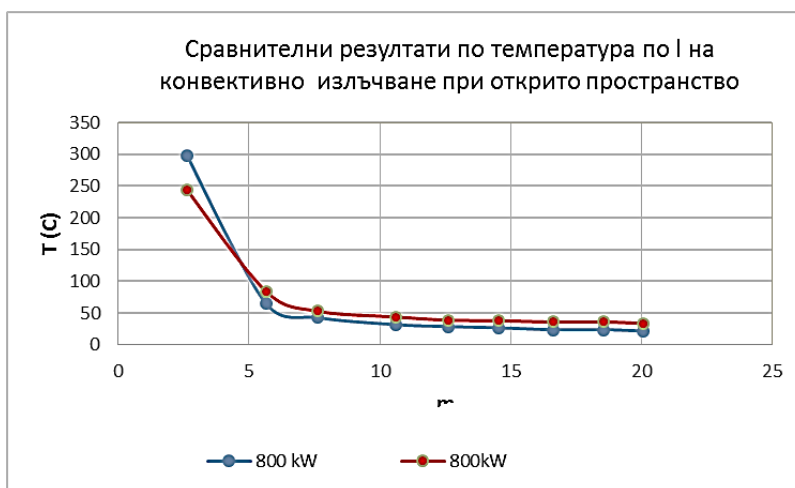


Фиг. 3.15



Фиг. 3.16 Температура на l по конвективната струя

Валидност на числените решения. Наблюдаваните процеси на прехвърляне на пламъка, експериментално са отчетени с термодвойки с интервали на отчитане през 1min от началото на запалването на автомобила до момента на запалване на другия под действието на лъчист топлообмен, излъчван от горящия автомобил и резултати от численото пресмятане във зависимост на критичната плътност на поток лъчиста енергия от времето на величината q_{1-2} представляваща специфичната енергия, предавана от първото тяло на второто в единици за плътност, като функция от много параметри $q_{1-2} = q(\sigma_o, \varepsilon_1, \varepsilon_2, a_1, b_1, r, T_1, T_2)$, при което някои параметри зависят от времето, се наблюдават приблизително еднакви стойности получени при числения резултатат и експеримента.



Фиг.3.17

Топлинен поток по данни от проведения експеримент — 800 kW и топлинен поток при получени числени резултати — 800kW

Изводи. Наблюдава се бързо затихване на максималната скорост и температура по x . Получените резултати дават безопасното разстояние, на което може да стои пожарникар или човек с гасително средство, така че то да обхваща огъня. Това разстояние е $x \geq 15-16$ m. . Това е валидно в случаите на голяма скорост на вятъра – по-голяма или равна на 5 m/s.

ГЛАВА ЧЕТВЪРТА

МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ НА РАЗПРОСТРАНЕНИЕ И РАЗВИТИЕ НА ПОЖАР

Моделът за пресмятане на топло и масообменът при пожар се състои от система основни диференциални уравнения, описващи закона за запазване на масата (уравнение за непрекъснатост), уравнение за движение (уравнение на Рейнолдс или модифицирани за турбулентно течение уравнение на Навие Стокс), уравнение за енергията. В модела се включват допълнителни уравнения, необходими за затваряне на системата уравнения, взаимни връзки и параметрични зависимости. Уравнение за непрекъснатост на газовата смес уравн. 4.1

$$4.1 \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0$$

където: ρ -плътност, kg/m^3 ; t -време, u, v, w компоненти на скоростта по трите координатни оси x, y, z .

Това уравнение е математическо изражение на закона на Ломоносов за запазване на масата и енергията.

В случая на фазовите превръщания това уравнение има вида:

$$4.2 \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = J$$

където: J междуфазовата промяна например от твърда в газова, или течна.

В програмните продукти, се употребяват най-често уравнения на движението, които могат да се определят, като уравнения за движение на турбулентен флуид от Навие Стокс, или втори вид на уравнението те се извеждат от уравненията на динамиката на флуидите в напреженията, като се приема:

$$4.10 \quad \tau_{ef} = \tau + \tau_T$$

респ,

$$4.11 \quad \mu_{ef} = \mu + \mu_T$$

където: τ_{ef} -е „ефективно“ тангенциално напрежение равна на сумата от ламинарното и турбулентното напрежение.

μ_{ef} -ефективно динамичен вискозитет равен на сумата от вискозитета на флуидите и турбулентния вискозитет. Уравненията за движение от този вид имат вида:

$$4.12 \quad \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_T \frac{\partial u}{\partial x} \right] +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_T \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu_T \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right]$$

$$4.13 \quad \rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_T \frac{\partial v}{\partial y} \right] +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_T \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu_T \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right]$$

$$4.14 \quad \rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu_T \frac{\partial w}{\partial z} \right] +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu_T \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu_T \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right]$$

За топлинен процес, какъвто е и пожарът, е възможно уравнение 4.24 да се замени и запише чрез първия закон на термодинамиката:

$$4.28 \quad \rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} (\lambda + \lambda_t + \lambda_p) \frac{\partial T}{\partial x} +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y} \left[(\lambda + \lambda_t + \lambda_p) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[(\lambda + \lambda_t + \lambda_p) \frac{\partial T}{\partial z} \right] \rightarrow q_v (N_{in}),$$

където: C_p - специфично топлосъдържание при постоянно налягане; λ - коефициент на топлопроводимост; λ_t - коефициент на турбулентна топлопроводимост; λ_p - коефициент на радиационна топлопроводимост; q_v - интензивност на вътрешните топлини източници. От своя страна q_v може да се представи от:

$$4.29 \quad q_v = q_{vk} + q_{vl} + q_{vt},$$

където: q_{vk} - интензивност на вътрешните източници от конвективен топлообмен; q_{vt} - интензивност на вътрешните източници от реакциите на горенето; q_{vl} - интензивност на вътрешните източници, следствие радиационния топлопренос. Уравнението за състоянието на газа има вида:

$$4.30 \quad p = \rho R T,$$

където: R - газовата постоянна.

Закон (уравнение) за запазване на масата на i -тия газ, влизащ в състава на сместа:

$$\begin{aligned}
4.31 \quad & \rho \frac{\partial \mathcal{H}_i}{\partial t} + \rho u \frac{\partial \mathcal{H}_i}{\partial x} + \rho v \frac{\partial \mathcal{H}_i}{\partial y} + \rho w \frac{\partial \mathcal{H}_i}{\partial z} = \\
& = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho D \frac{\partial \mathcal{H}_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho D \frac{\partial \mathcal{H}_i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho D \frac{\partial \mathcal{H}_i}{\partial z} \right) + M_o,
\end{aligned}$$

където: коефициента на дифузия е сума от коефициента на дифузия D_i и коефициентът на турбулентна дифузия D_t .

$$D = D_i + D_t$$

$\mathcal{H}$ -масова концентрация на i -тия газ; m_i -интензивност на вътрешните източници, респ. на маса, възникващи вследствие образуване (изчезване) на молекули от даден газ, вследствие на протичащите химични реакции на горенето при пожари.

Закон (уравнение) за запазване на оптическата плътност на дима има вида:

$$4.32 \quad \frac{\partial D_{on}}{\partial t} + u \frac{\partial D_{on}}{\partial x} + v \frac{\partial D_{on}}{\partial y} + w \frac{\partial D_{on}}{\partial z} = q_D$$

където: D_{on} димообразуваща способност на горимия материал, q_D -интензивност на вътрешните източници на оптическа плътност на дима, образува от протичащата реакция на горене при пожара.

Топлофизическите параметри на сместа от газове, участващи и получени в резултат на горенето при пожара, отчитат химическия състав на тази смес. Тази смес се състои от кислород, азот и продукти на горенето – окиси на въглерода, азота, сяра и др., участващи в процеса горими съставки. Те се определят, както следва: плътност на сместа

$$4.33 \quad \rho = \sum_{i=1}^n \alpha_i \rho_i$$

-газова постоянна

$$4.34 \quad R = \sum_{i=1}^n \mathcal{H}_i R_i$$

- специфична топлемкост

$$4.35 \quad C_p = \sum_{i=1}^n \mathcal{H}_i C_{p_i},$$

където: α_i -обема концентрация на i^{ma} компонентна - $\mathcal{H}$ масовата й концентрация. Стойностите на тези параметри се определяни при постоянно налягане – $p = const$. Тези стойности се определени или в зависимост от температурата, или се вземат за постоянни.

Характеристично уравнение.

Характеристичното уравнение се обобщават основни диференциални уравнения, които в програмните продукти се решават последователно за всеки един от параметрите на течението. Вида на уравнението е следния:

$$4.36. \quad \frac{\partial}{\partial x}(\rho\phi) + \text{div}(\rho w\phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad } \phi) + S$$

където: ϕ е зависима променлива-съответно скоростни компоненти, енталпия, концентрация на компонентите на газовата среда, оптична плътност на дима; Γ - е коефициент на дифузия за съответно ϕ , s източников член. Стойностите в урав.4.36 са дадени в табли.4.1

Таблица 4.1.

№	Ф	Г	S
1	1	0	0
2	w_x	$\mu + \mu\tau$	$\frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma \frac{\partial w_x}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma \frac{\partial w_y}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\Gamma \frac{\partial w_z}{\partial x}\right) - \frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial x}(\Gamma \text{div } w)$
3	w_y	$\mu + \mu\tau$	$\frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma \frac{\partial w_x}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma \frac{\partial w_y}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\Gamma \frac{\partial w_z}{\partial y}\right) - \frac{\partial \rho}{\partial y} - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial y}(\Gamma \text{div } w)$
4	w_z	$\mu + \mu\tau$	$\frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma \frac{\partial w_x}{\partial z}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma \frac{\partial w_y}{\partial z}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\Gamma \frac{\partial w_z}{\partial z}\right) - \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial x}(\Gamma \text{div } w) \beta g_{\Delta T}$
5	X_{O_2}	$(D_{O_2} + D_T)\rho$	$m_{O_2} = L_{O_2} \Psi_{\Gamma\eta} / \Delta V$
6	X_{CO}	$(D_{CO} + D_T)\rho$	$m_{CO} = L_{CO} \Psi_{\Gamma\eta} / \Delta V$
7	X_{CO_2}	$(D_{CO_2} + D_T)\rho$	$m_{CO_2} = L_{CO_2} \Psi_{\Gamma\eta} / \Delta V$
8	X_{N_2}	$(D_{N_2} + D_T)\rho$	0
9	X_{H_2O}	$(D_{H_2O} + D_T)\rho$	m_{H_2O}
10	X_{III}	$(D_{III} + D_T)\rho$	m_{III}
11	X_{OII}	0	$q_D = D_{OII} \Psi_{\Gamma} / \Delta V$
12	i_w	λ_w	q_{vw}
13	i_c	λ_c	q_{vc}
14	i	$\lambda + \lambda_T + \lambda_{II}$	$\Psi_{\Gamma\eta} Q_P / \Delta V - q_{vp}$

В таблицата са въведени следните означения X_{O_2} X_{CO} X_{CO_2} X_{N_2} X_{H_2O} $X_{ПГ}$ -масова концентрация на кислород, продукти на горенето въглероден окис, въглероден диоксид, азот, водни пари и продукти на горенето.

D_{O_2} D_{CO} D_{CO_2} D_{N_2} D_{H_2O} $D_{ПГ}$ - коефициенти на дифузия за изброените по-горе параметри.

m_{O_2} m_{CO} m_{CO_2} - интензивност на вътрешни източници и пад на кислород, въглероден окис и въглероден диоксид.

Това е възникване от образуване на молекулата от собствения газ на химическата реакция произтичащи от горенето:

m_{H_2O} - интензивност на вътрешните източници на масата на вода, съответно водни пари под влиянието на температурното поле в помещението и ограждащите конструкции; $\beta = \frac{1}{T}$ коефициент на обемно топлинно разширение $\frac{1}{K}$; L_{O_2} - необходима маса кислород за изгаряне на 1kg горим материал; L_{CO} L_{CO_2} - отдадена маса окиси на CO и CO_2 при изгаряне на 1kg горим материал; $\Psi_{Г}$ - скорост на изгаряне на горимия материал; $D_{оп}$ - димообразуваща способност на горимия материал; i_i , i_w , i_c -енталпия на газовата смес, стените и преградите; Q_p^n - долна работна топлина на изгаряне; ν -степен на изгаряне; q_D - интензивност на вътрешни източници на оптическата плътност на дима, образуващ се при протичане на реакцията на горене. q_{vw} и q_{vc} -интензивност на вътрешните източници на топлина вътре в стените и преградите и ΔW - обем на газовата среда, вътре в която се намира източника на маса или енергия.

ГЛАВА ПЕТА

ЧИСЛЕНА СИМУЛАЦИЯ НА ПОЖАР НА ПЪТНО ТРАНСПОРТНО СРЕДСТВО

Използването на компютърната техника за моделиране на пожари и прецизни анализи за противопожарна защита, придобива все по-голяма степен на приложимост през последните десетилетия, с прогностични способности, обхващащи широк спектър от приложения. В общи линии при численото моделиране на пожари могат да бъдат включени основни алгебрични съотношения за създаване на параметрични зонални модели, които се използват,

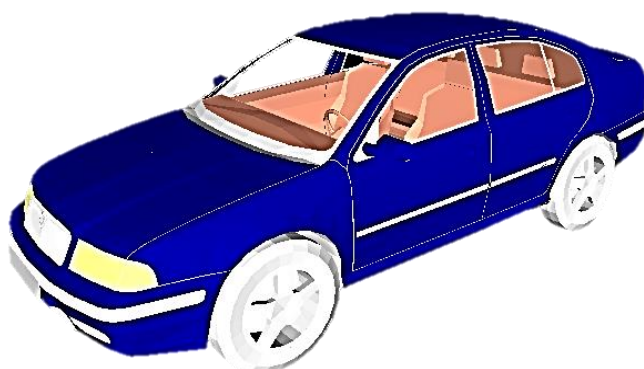
за да се прогнозират, или отчетат различните противопожарни явления в рамките на установения набор от граничните условия.

Построяване на геометричния модел и генериране на мрежа. Моделът прогнозира развитието на пожар в лек автомобил. Целта е да се предскажат опасностите от пожар при пътнотранспортни средства.

Моделиран е подход към изучаването на газова фаза-горене и конвективни процеси при пожари в резултат на пътно транспортни произшествия, използвайки комбинация от математически анализ и компютърна симулация.

Изследвано е разпределението на някои от по-важните параметри (скорост, температура и турбулентна кинетична енергия) на дима, направена е научно обоснована прогноза на динамиката на опасните фактори на пожара на горящо превозно средство.

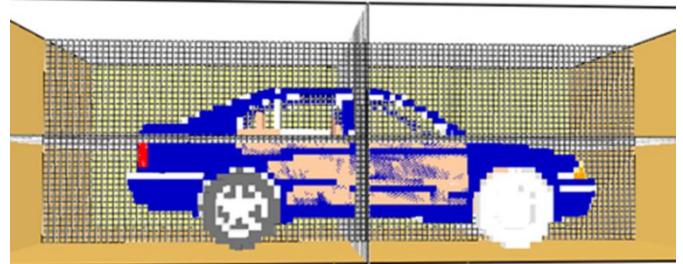
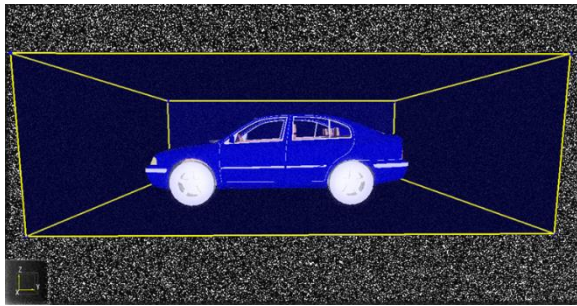
Числената симулация касае пътно транспортно средство (лек автомобил). Симулация включва всички запалими компоненти, споменати по-горе и други пластмасови и метални компоненти, които влияят на динамиката на пожара, респ. и дима разпределени във времето (Фиг. 5.4).



Фиг.5.4

Омрежаването се извършва с програмата PyroSim - потребителския интерфейс на софтуера Fire Dynamics Simulator (FDS). Като първа стъпка се пристъпва към омрежаване на лицата на повърхността на модела. Задават се топло физическите характеристики на материалите.

Съответната зона от мрежата се наименува със собствено отличително име. Същите стъпки се извършват и при омрежаването на обема (Фиг.5.5).



Фиг.5.5 *Омрежаване на обема на лекия автомобил*

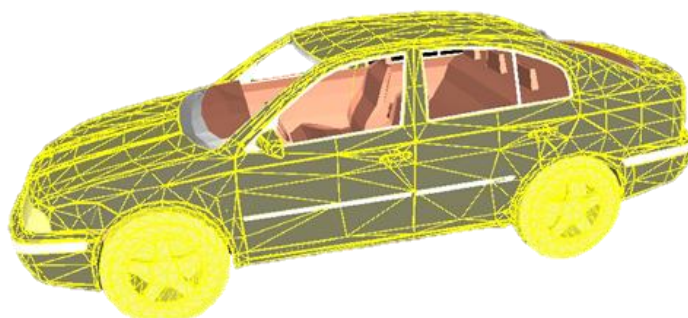
Данните за получената мрежа: брой по x клетки (70), брой по y клетки (105), брой по z клетки (35). Размер на клетките $0,06 \times 0,06 \times 0,06$ (m). Общ брой на клетките- 257250 броя.

В симулацията точността на разделителната способност на мрежата се определя като безразмерен израз D / δ_x , където D - характерен диаметър на пожар а δ_x номинален размер на отворите 1. Величината D следва да се разглежда като брой изчислителни клетки, като не се взема под внимание физическия диаметър пожар.

$$(5.13) \quad D = \left[\frac{Q}{p_{\infty} c_{\alpha} T_{\infty} \sqrt{g}} \right]^{\frac{2}{5}}$$

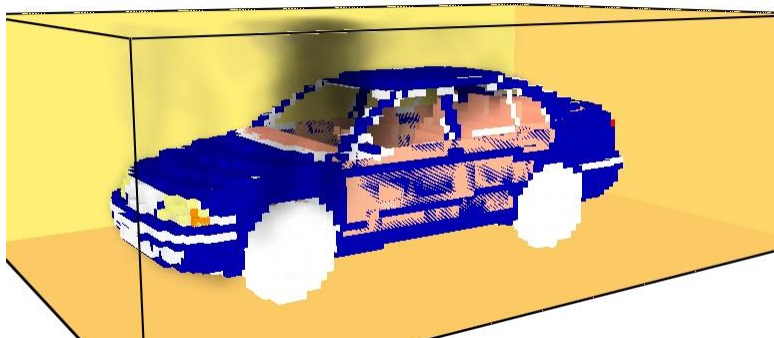
След построяването на 3D модела на пътно транспортно средство, се пристъпва към процедура „омрежаване” на обема.

Изглед на генерираната мрежа представен на Фиг.5.5 и Фиг.5.6.



Фиг.5.6

Гранични условия за обем: Приема се, че обемът на лекия автомобил се запълва от генерираните димни газове. Фиг.5.8



Фиг.5.8 Симулация на развитие на пожар във вътрешен интериор на автомобил

Числената симулация се извършва с персонален компютър ASUS X541SC-XX005D с Intel Pentium N3710, NVIDIA GeForce 810M, 4GB DDR3, 480GB SSD + 1TB HDD.

Числената симулация на процесите на разпространение на пожар в пътнотранспортно средство се извършва в работна среда FDS.

При пресмятане на процеси в ограничено пространство, и особено в случаите когато имаме смесване на потоци с различна плътност е добре да се използва съответен турбулентен модел, решен числено чрез разделяне на физическото пространство, като най фина е необходима да бъде мрежа в зоната на пожара.

В рамките на всяка клетка, скоростта на газа, температура и т.н., се приема, за еднакви за даден момент от време. Точността, с която динамиката на пожар може да се симулира зависи от броя на клетките, които могат да бъдат включени в симулация.

Целта е да се получи независимост на численото решение от гъстотата на избраната изчислителна мрежа.

Моделиран е вътрешен интериор на съвременен автомобил, с фокус върху рамките на седалките, арматурното табло, тавана, панелите на вратите, конзоли и подлакътника.

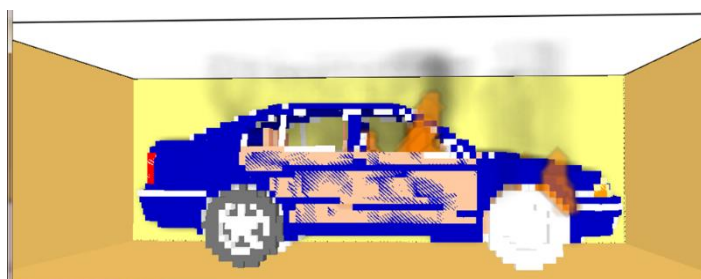
Направен е симулативен модел на възникване на късо съединение в пътнотранспортно средство. Късото съединение е непредсказуемо и е свързано със състоянието на автомобила (в покой или в движение) и допълнително

монтираните консуматори. Най-често късо съединение възниква в арматурното табло и се разпространява в купето. По-рядко възниква в моторния отсек и багажника. Интериора на пътно превозно средство (Фиг.5.9) е погълнат от пламъци в рамките на 4min.



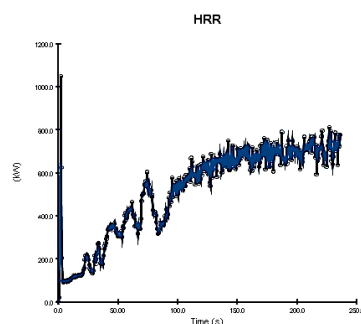
Фиг.5.9

Времеви интервал на симулацията-0,00 400s. Изчисленията се извършват на 2s, при зададена температура по 200°C. Стъпка на нарастване 3 и ъгъл на нарастване 5.



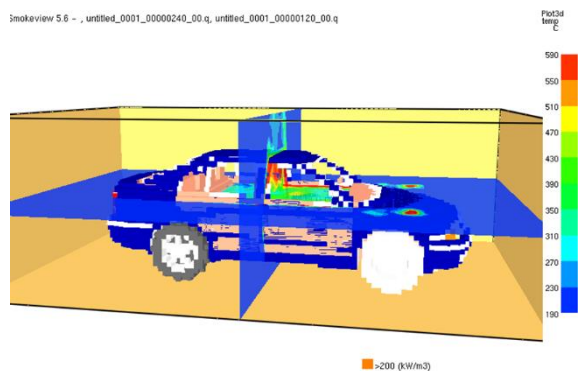
Фиг.5. 11

Симулация на пожар на 120s

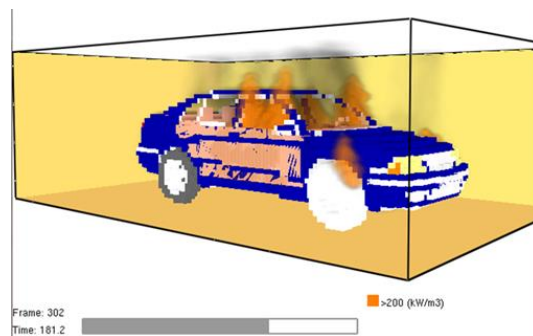


Фиг.5.12

Мощност на пожара при 250 s

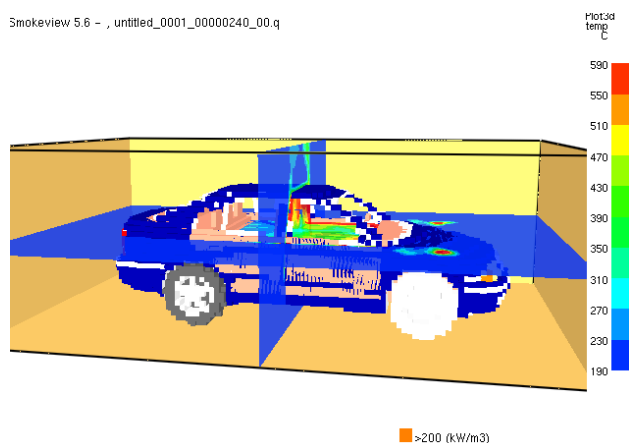


Фиг.5.13 Температура при 120s



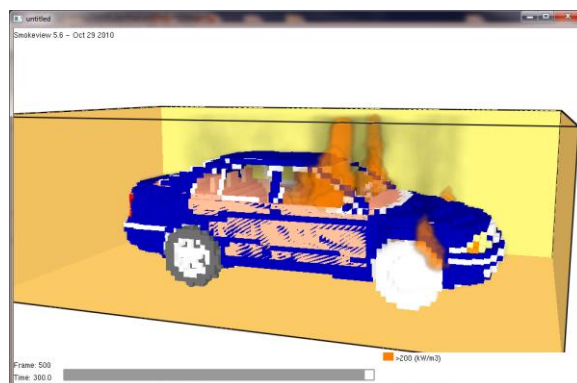
Фиг.5.14 Симулация на пожар на 180s

Smokeview 5.6 - , untitled_0001_00000240_00.q



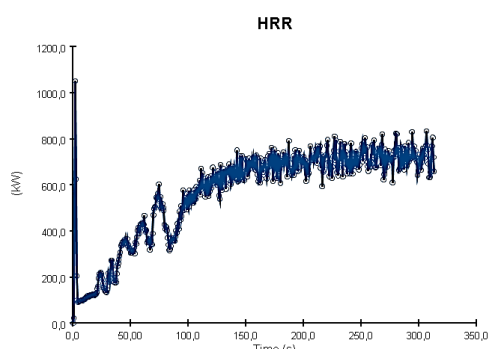
Фиг.5.15

Температура на пожара при 240s



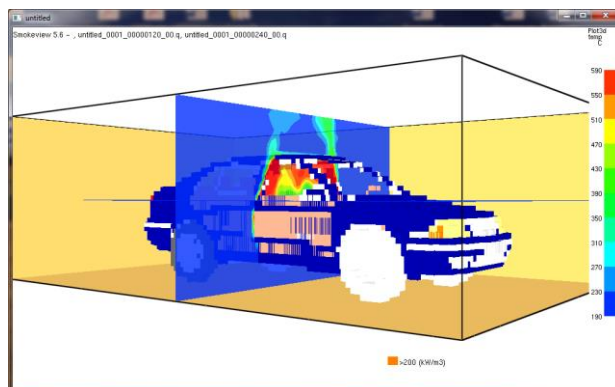
Фиг.5.1

Симулация на пожар с $>200\text{kW/m}^2$ на 300s



Фиг.5.17

Мощност на пожара при 300s



Фиг.5.18

Температура на пожара при 250s

Резултати от числената симулация.

При съпоставяне на получените числени резултати с експерименталния пожар може да се направят следните изводи:

Като основен източник за възникване на пожари в пътно транспортни средства може да се посочи възпламеняването на горивото, вследствие на попадането му върху нагрети части от двигателя и изпускателния колектор, или от искри. При такова попадение се наблюдава бързо изпарение на горивото, без то да се запали.

Възпламеняването на парите най-често се поражда от искро-генериращи части (динамото, стартер и др.), при което възниква взрив.

Локалните пожари протичат когато парите от запалими и летливи течности се запалят.

Скоростта на горене се определя от изпаряването на течността, при което се отнема топлина от радиацията на огъня над течността.

Характерния признак на пожар, вследствие на изтичане на гориво, е значителното прегряване на металите в зоната на изтичане на горивото.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- ✓ Получаване и доказване по опитен път на нови факти относно възникването и развитие на пожар при моторни превозни средства.
- ✓ Доказване с нови (опитни и теоретични) средства на съществени нови страни в съществуващ научен проблем относно възможността за пренос на пожар към близко стоящи моторни превозни средства.
- ✓ Прилагане на нови средства на изчислителна механика на флуидите при симулация на пожари при автомобили.
- ✓ В новия комбиниран метод за експерименталните изследвания на пожари при автомобили с използване на съвременна апаратура.

IV. НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Грозданов К, Въведение в теорията на пожарите, възникващи при моторни превозни средства, Сборник доклади XIX Научна конференция с международно участие, ЕМФ 2014Том II, Сливен, с.54.
2. Грозданов К, Изменение на параметрите на конвективни струи по траекторията. Научна конференция с международно участие 13-16.09.2015. Созопол. Сборник доклади, с 84.
3. Грозданов К, Карапетков С, Антонов И, Развитие на пожар при лек автомобил с отчитане въздействието на вятъра, Национална конференция с международно участие, Сливен 2015.
4. Грозданов К, Разпространение и въздействие на радиационния топлообмен при пожари на автомобили, Научна конференция Русенски университет „Ангел Кънчев“ 09-10.10.2015 г. Русе.
5. Kamen Grozdanov., Modeling of origin and spread of fire in road vehicle. ABSTRACTS., Smart Specialization - Innovative Strategy for Regional Economic Transformation SAT-9.2-2-HT-08,c.244
6. Grozdanov K, Numerical simulation for spread of fire in road vehicle. ABSTRACTS., Smart Specialization - Innovative Strategy for Regional Economic Transformation SAT-9.2-2-HT-09, c.243