



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Електротехнически факултет

Катедра Електроенергетика

Маг. инж. Теодоси Генчев Цанков

**ЕЛЕКТРИЧЕСКА И ПОЖАРНА БЕЗОПАСНОСТ В
ГАЗИФИЦИРАНИ ОБЕКТИ И МЕРКИ ЗА НАМАЛЯВАНЕ
НА РИСКА ОТ АВАРИИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.2. „Електротехника, електроника и
автоматика“

Научна специалност: „Техника на безопасността на труда и
противопожарната техника“

Научен ръководител: Проф. д-р инж. Иван Василев Иванов

СОФИЯ, 2022 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Електроенергетика“ към Електротехнически факултет на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 06.06.2022г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 19.09.2022г. от 13:00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.2-51 / 22.06.2022 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д-р инж. Валентин Генов Колев - председател
2. доц. д-р инж. Николай Витков - член
3. проф. д-р инж. Радослав Къртов - член
4. проф. д-р инж. Георги Ботев - член
5. проф. д-р инж. Васил Димитров - член

Рецензенти:

1. проф. д-р инж. Георги Ботев
2. доц. д-р инж. Николай Витков

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Електротехнически факултет на ТУ-София, блок №12, кабинет № 12222

Дисертантът е задочен докторант към катедра „Електроенергетика“ на Електротехнически Факултет. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Теодоси Цанков

Заглавие: Електрическа и пожарна безопасност в газифицирани обекти и мерки за намаляване на риска от аварии

Тираж: 30 броя

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Повишаването на сигурността и безопасността на газифицирани сгради и обекти е основно задължение за проектантите и строители. Въпреки заложените в нормативни документи изискванията, често се допускат нарушения. На етап проектиране тези нарушения са рядкост, но след въвеждане на обектите в експлоатация нарушения се трупат всекидневно. Това се изразява с не осигуряване на свободен достъп (складира се нужни и ненужни предмети в близост или на самите евакуационни пътища) до пътищата за евакуация. Работните кабинети и помещения от всякакъв вид се облицоват с неподходящи материали. Често срещано нарушение е, че помещенията се ползват не по предназначение. Практиката доказва, че след въвеждане в експлоатация нарушенията в сградите настъпват, когато се започне своеволно да се реконструират и преграждат помещения и евакуационни изходи. Това от своя страна води до затрудняване на евакуацията и отдимването на сградата. Понякога при реконструиране на помещенията се премахват носещи стени и колони. Административните ръководства са длъжни да осигурят сигурността и безопасността на обитателите на сградата. За целта се разработват евакуационни планове и схеми, вътрешни правила и наредби. Ако сградата е предвидена за масово събиране на хора (училища, офиси, търговски центрове и т.н) по евакуационните пътища са монтирани димоуплътнени врати, пожароизвестителни и гасителни инсталации. Всичко това се изгражда, защото хората, обитаващи сградите, трябва да бъдат защитени при възникване на рискова ситуация.

За да възникне пожар в загазовано помещение е необходимо само една искра с достатъчно енергия или източник на топлина, които най-често се образуват по причини от електрически характер. Искрите най-често се образуват от електрически устройства, машини, токове на късо съединение и други. Източниците на топлина от електрически характер са също толкова разнообразни. Могат да възникнат при значителни претоварвания на проводници и намотки на електрически устройства, при което същите се нагряват до високи температури, лоши контакти между проводниковите връзки, удари на мълния и др. Поради тези и ред други причини трябва да се обърне сериозно внимание на електрическата безопасност. При неправилно боравене с електрически уред или с дефектирал такъв вероятността за възникване на инцидент се увеличава. Електрическият ток преминаващ през човешкото тяло има топлинно, механично, електролитни, биологично въздействия, които могат да доведат до фатален край на ползвателя на уреда. Ако такъв инцидент се получи в загазовано помещение то мащабите на инцидента се увеличават неимоверно. Като се има в предвид, че електрическата безопасност е система от организационни и технически методи и средства за защита на хората от вредните и опасните въздействия от електрическият ток, статични електричество, електрическа дъга и електромагнитно поле, negliжирането на тези методи и средства е безотговорно, и последиците често са фатални.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационния труд е да се направи анализ на нормативната съвместимост и на електрическата и пожарната безопасност в газифицирани сгради и обекти, и при използване на газови уреди и уредби в негазифицирани обекти в България, и дефиниране на препоръки и мерки за намаляване на риска при експлоатацията им.

За постигане на целта са формулирани следните основни задачи на дисертационния труд:

1. Анализ на основните характеристики на най-често прилаганите в България системи и инсталации за газифициране на различни видове сгради и обекти, преглед на изискванията и мерките за намаляване на риска от аварии в тях.

2. Анализ и оценка на съвместимостта на типови проекти и изпълнени системи и инсталации за газифициране на сгради и обекти с изискванията на законодателството на ЕС и на България, относно електрическата и пожарната безопасност.

3. Анализ на организацията и ефективността на мониторинга и контрола на газифицирани сгради и обекти, и на газови уреди и уредби в негазифицирани сгради, МПС и други в практиката.

4. Компютърно моделиране на типова газифицирана сграда, разработване и анализ на сценарии на потенциални събития с пожари и взривове по причини от електрически характер.

5. Дефиниране на препоръки към проектирането, монтажа, експлоатацията, мониторинга и контрола на системите и инсталациите за газифициране на различни видове сгради и обекти, за намаляване на риска от аварии и повишаване на тяхната безопасност и сигурност в практиката.

Научна новост

Извършено е проучване, анализ и оценка на съвместимостта на типови проекти и изпълнени системи и инсталации за газифициране на сгради и обекти с изискванията на законодателството на ЕС и на България, относно електрическата и пожарната безопасност.

Извършено е проучване и анализ на организацията и ефективността на мониторинга и контрола на газифицирани сгради и обекти, и на газови уреди и уредби в негазифицирани сгради, МПС и други в практиката.

Практически е доказано, че предвиденият от Законодателя обем на аварийната вентилация в някои случаи не е достатъчен и въпреки наличието и може да възникне експлозия с катастрофални последици,

Практическа приложимост

Направен е анализ на методите за оценка надеждността, вероятността за неизправности, откази и аварии, и значимост на елементите на системи и инсталации за газифициране на сгради и обекти.

На основата на базов математически модел на разпространението на пожар във високи сгради, е синтезиран и адаптиран модел на разпространението на пожар по причина от електрически характер в газифицирана сграда.

Верифициран е адаптирания математически модел чрез изчисления на необходимия обмен на въздух, който трябва да осигури аварийната вентилация при вътрешни експлозии в сгради, за да се предотвратят фатални последици за конструктивната устойчивост на сградите и за хората, и сравняването на този обмен с посоченият като необходим в общия случай осемкратен обмен на въздух в Наредба № 19/1971 от 29 октомври 2009 г. [82]. Установено е, че за разгледаните обекти осемкратен

обмен не е достатъчен и е мотивирана необходимостта вентилационният обмен да се определя чрез изчисления за тези и други подобни случаи в практиката.

Разработен е сценарий на пожар по причина от електрически характер в газифицирана сграда. Изследвана е динамика на пожара и въздействието му върху предмети и повърхности, и чрез компютърно моделиране са направени поредица симулации в помещения с различно оборудване, като са проследени всички фази на развитие на пожара. Определен е „пътят“ на димните потоци, които позволява на етап проектиране да се определят опасните местата на концентрация на токсичен дим и възможностите за най-ефективното му отвеждане навън, за да се постигне максимално възможна безопасност.

Дефинирани са препоръки за повишаване на безопасността и намаляване на риска от аварии в газифицирани обекти, и на газови уреди и уредби в негазифицирани сгради, МПС и други в практиката.

Апробация

Изследванията по дисертацията са извършени на база на описаните обекти, именно складова база на фирма „Елит авто България“ и 200 ОУ „Отец Паисий“ с. Лозен. За тези обекти е направен хипотетичен сценарий за експлозия и пожар, като са анализирани потенциалните последици посредством представен адаптиран математически модел и методика, която се изучава по дисциплината „Пожарна и аварийна безопасност на технологичните процеси“ в Академия на МВР. Направена е компютърна симулация на възникване на пожар и неговото разпространяване в два модела. В първият в помещението пожарът възниква от електрически уред, а при другият модел в помещението има изтичане на газ, а причината за пожар е от електрически характер.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 4 научно публикации. Съществените резултати получени при разработване на дисертацията са докладвани на следните конференции и семинари:

Международна конференция: “X Научна Конференция на Електротехнически Факултет (BulEf 2018)“ ID: 5765867

Международна конференция: “ VI Регионална конференция на Европейската безопасна общност - ESCON'2018“ ID: 52

Международна конференция: “XIII Научна Конференция на Електротехнически Факултет (BulEf 2021)“ ID: 361257 и ID: 361288

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от (180) страници, като включва увод, (4) глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо (131) литературни източници, като (35) са на латиница и (78) на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо (39) фигури и (11) таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

Проучванията у нас и в други страни показват, че в много случаи пожарите в жилищни, бизнес- и индустриални сгради са породени от техническа неизправност, като тази неизправност много често е по причина от електрически характер. Такива инциденти, освен че могат да причинят сериозни финансови щети, могат и да застрашат човешкия живот и здраве. В по-старите сгради, с обикновено стари електрически инсталации, е вероятно отделните компоненти на същите да предизвикат пожар. Но колкото и да е надеждна една електрическа инсталация, може да дефектира при неправилна експлоатация и поддръжка. Именно затова трябва да се спазва нормативната уредба, както при проектиране, така и при ползването на електрическата инсталация. Също така ползвателите на електрически уреди трябва да се запознати с правилата за безопасна работа с тези уреди.

1.1.1 Законодателство на ЕС и РБ, кореспондиращо с безопасността в газифицирани обекти, анализ и оценка на хармонизирането им

В европейското законодателство Европейската Комисия (ЕК), заедно със своята институционална роля, разработва директиви, впоследствие приемани от различните страни-членки на ЕС и след това прилагани в националните законодателства. След като са приети, тези директиви влизат в правна сила и поставят определени изисквания пред производителите, монтажниците и търговците, които трябва да изпълняват задълженията, определени с национален нормативен акт. Предназначението на всяка директива е да ги задължи да предприемат всички нужни мерки, така че продукцията им да не застрашава безопасността и здравето на хората, животните и имуществото. Безспорен факт е, че за пожарната безопасност на газифицираните сгради е важно да има европейски стандарти, определящи характеристиките на пожароустойчивост на строителния материал, методите на изпитване, които трябва да се използват, формата на докладване за информиране за постигнатите резултати и да се гарантира, че тестването / оценката е направено във всички държави-членки на ЕС по един и същ начин. Поддържането на актуализирани европейски стандарти за отразяването на реални рискове от пожар и внедряването им в строителния процес е в интерес както на европейските граждани, така и на държавите-членки и индустриите.

Директива 2006/42/ЕС налага специфични задължения за лицето (физическо или юридическо), което пуска продукти на пазара и/или пуска продукти, чиято употреба е във взривоопасна среда. Директивата не регламентира използването на оборудване в потенциално експлозивна атмосфера, която е обхваната от различно законодателство на ЕС или национално законодателство: например Директива 1999/92/ЕО за работното място. Тя е приложима за всички форми на предоставяне на продукти на пазара на ЕС, независимо от техниката на продажба.

Според европейските експертите обаче, в бъдеще Регламент (ЕС) № 305/2011 трябва да се подобри в няколко аспекта [99]:

- адаптиране към иновациите;
- по-добра информация за пожарната безопасност на продуктите (например токсичност от дим и т.н.);
- хармонизиране със сродно законодателство.

1.1.1.1 Преглед на основни документи на законодателство на ЕС и РБ, кореспондиращо с безопасността в газифицирани обекти

Електро- и пожарната безопасност заемат сериозен дял в планирането и архитектурата на една сграда. В газифицираните жилищни сгради и стопански постройки пожар може бързо да покрие голяма площ след експлозия. Наредба Из-1971 от 5.06.2010 г. и според посоченото в нея „пасивни мерки” за пожарна защита при проектиране,

изграждане и експлоатация на строежите, са предвидени мерки с които се осигурява запазване на носещата способност и на устойчивостта на конструкцията и се ограничава разпространяването на пожари [82]. Основният показател, определящ пожароустойчивостта на използваните продукти е Клас по реакция на огън, показан на Таблица 1.

1.1.1.2 Анализ и оценка на хармонизирането на законодателство на ЕС и РБ, кореспондиращо с безопасността в газифицирани обекти

След направеният анализ на хармонизирането на законодателството на ЕС и РБ се вижда проблем, който произтича от установеното сериозно закъснение на обявяването в Официалния вестник на ЕС на нови издания на европейски стандарти (специално по CPR). В него публикуват списък от 09.03.2018 г. хармонизираните стандарти по CPR са 444 на брой, 85 от които са с нови издания, публикувани от CEN. Тези промени не са отразени в Официалния вестник, там фигурират все още по-старите издания на стандартите, които вече са отменени.

Проблемът тук е, че когато CEN публикува ново издание на даден стандарт, старият автоматично се счита за отменен. Поражда се неясно правно положение, защото БИС, като национален орган за стандартизация и пълноправен член на CEN е задължен да отмени БДС EN, в който фигурира отменения EN, макар че той продължава да присъства в Официалния вестник на ЕС. На практика се получава така, че съответствието на много строителни продукти се оценява по отменени европейски стандарти, тъй като действащите не са хармонизирани чрез обявяването им в Официалния вестник на ЕС.

1.3.1 Аварии в жилищни комплекси и сгради

Със съдействието на Главна дирекция "Пожарна безопасност и защита на населението" към МВР, за целите на дисертацията е получена статистическа информация за произшествията в сгради в България за периода от 2000 – 2017г. Предоставените от ГД ПБЗН обобщени данни за периодите 2000-2008 г. и 2009-2017 г., съответно в таблици 6 и 7 показват разпределението на инцидентите по причини в различните отрасли. Данните са предоставени във вид на телефонограми, същите са обработени и по тях е направено разпределение на инцидентите по отрасли и причините за възникването им. След направеният анализ на таблици 6 и 7 може да се приеме, че значителна част от произшествията поради техническа неизправност са свързани с причини от електрически характер. Най-много електрически аварии са се случили в жилищни сгради и най-честата причина е претоварването на електрическата мрежа, като в тези случаи може да последва късо съединение. В повечето случаи късото съединение е особено опасно. За кратко време се отделя голямо количество топлина, проводниците се разтопяват и има голяма вероятност от възникване на пожар.

1.3.2 Аварии в промишлени обекти, бизнес сгради и офиси

Разглеждането на аварии в промишлени обекти, бизнес сгради и офиси е особено важно. Много често инцидентите в тези обекти не остават локални (само в обекта) и последиците от тях са в големи мащаби. Анализът на инцидентите показва, че основните причини за произшествия с газово оборудване в промишлени обекти, бизнес сгради и офиси са [29]:

- изтичане на газ от кранове
- изтичане на газ в заварени съединения;
- изтичане на газ в точките на свързване на клапана и регулатора към цилиндъра;
- прекъсване на газоподаването;
- непълно изгаряне на газа;

При достигане на експлозивна концентрация в помещение и наличие на искра ще възникне вътрешна експлозия. Вътрешните взривни експлозии се характеризират с дефлаграционния тип експлозивна трансформация, т.е. при изгарянето на смес от газ и въздух, концентрацията на гориво е между долната и горната граница на концентрация на запалване [14]. В тази връзка е необходимо да се повиши огнеустойчивостта на промишлените, бизнес сградите и на техните строителни конструкции. Експерименталното определяне на границите на огнеустойчивост на строителните конструкции, които прогнозира поведението им при истински пожар, остава спешен нерешен проблем. Огнеустойчивостта на строителните конструкции се влияе значително от редица фактори (големината на приложеното натоварване, геометричните размери на конструкцията, строителните материали, от които е направена конструкцията, както и условията за фиксиране на конструкцията и температурния режим на пожара), а това налага и определени изисквания към изпитвателното оборудване за получаване на надеждни резултати. В момента липсва подробен механизъм приложим към газифицираните сгради, има само списък на правилата за безопасност при използване на газ в дома, разработен от ГД „Пожарна безопасност и защита на населението“, които са насочени към повишаване на надеждността и безопасната експлоатация на домашното газово оборудване и газовите мрежи.

1.3.3 Аварии в други стационарни обекти, МПС, ЖП транспорт и други.

Втечен пропан-бутан е все по-търсен източник на енергия, както в Република България така и в световен мащаб за енергийни, промишлени и битови цели. От може да се направи извод, че през целия период от 2000-2017 г. инциденти възникват най-често в жилищното стопанство (над 78%) и на следващо място е транспорта (около 13%). Когато се разгледат тези 13% по-подробно става ясно, че точният брой инциденти е 328, от които 152 са свързани с изтичане или с транспортиране на газ. Възникналите инциденти в сектор „Транспорт“ разделени на причини за периода от 2000 до 2017 година и става ясно, че 90% от всички инциденти са настъпили в автомобили, оборудвани с автогазова система (АГУ).

1.4 Методи за анализ и оценка на риска, надеждността и тяхната приложимост за системи и инсталации за газифициране на сгради и обекти

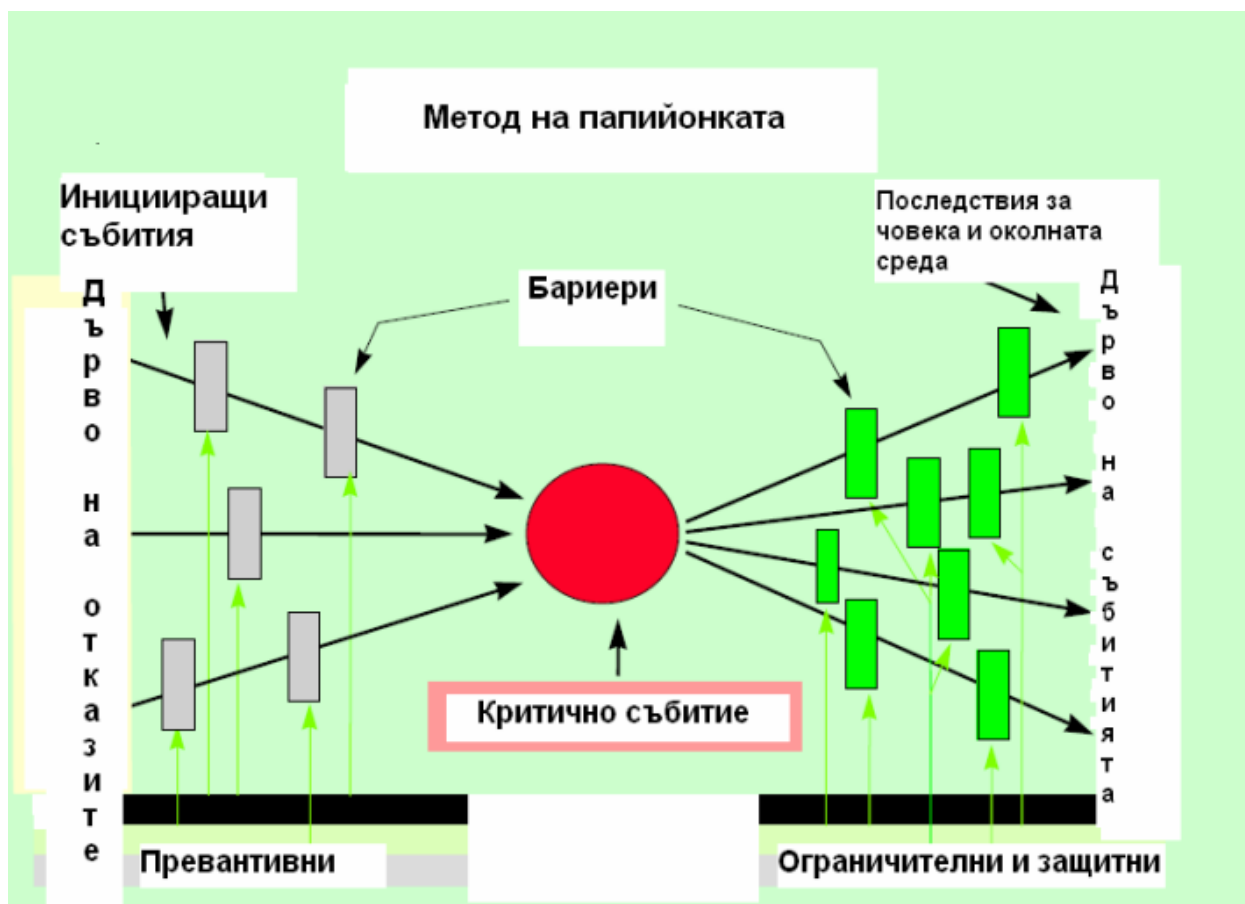
Прилагането на подходящи методи за анализ и оценка на риска и тяхната надеждност, вероятност за неизправности, откази и т.н. са от съществена важност за намаляване на риска от инциденти в газифицирани сгради и обекти. Такива подходящи методи са представени в дисертацията.

1.4.1 Метод за количествената оценка на риска

Количествената оценка на риска (КОР) може да се изпълни самостоятелно или като част от „Доклад за безопасност“, който се изготвя от експерти за даден индустриален обект за да се предостави на компетентния орган необходимата информация за оценяване нарастването на риска и вземането на решение относно допустимостта на риска от дейностите на територията на обекта или в заобикалящия го район. Доклад за безопасност се изготвя и когато количеството на опасните вещества в даден индустриален обект, надхвърля предписаната гранична стойност от компетентните органи.

1.4.2. Метод на “Папийонката”

Известен и популярен в практиката метод за анализ на отказите на оборудването и последствията от тях е т.н. методът на “Папийонката”. Той представлява графична комбинация между методите “Дърво на отказите”, “Дърво на събитията” и диаграма на “бариерите” (мерките за безопасност).



Методът “Дърво на отказите” е дедуктивен метод, който дава възможност за детайлен анализ на възможните състояния на сложна система. Определя начините, по които опасностите могат да доведат до аварии и крупни катастрофи със значителен ефект върху околната среда. Методът се прилага с добре дефинирано крайно събитие и в обратен ред се разглеждат различните възможни начални събития, които могат да причинят авария.

Методът “Дърво на събитията” представлява е начин за илюстриране на последователността от събития, които могат да бъдат интерпретирани като последствия от възникването на определено инициращо (начално) събитие. За всяко събитие се изчислява вероятността да се случи. За представителността му говори и това, че този се използва и в ядрената енергетика за анализ на събития в АЕЦ. Например с него е направен анализ на последствията от аварията на два атомни реактора на остров Три Майлс Айланд на 1 април 1979, САЩ [50].

1.4.3. Метод за анализ на монотонни системи

Прилагането на метода за анализ на монотонни системи [42] показва неговите възможности за вероятностна оценка на състоянието на елементите на пречиствателните съоръжения, осигуряване на важна информация за вероятността те да са в работно състояние, за най-значимите елементи за надеждността на съоръженията, а така също за зависимостта тяхната експлоатационна готовност от провежданите профилактични обслужвания и ремонти.

Състоянието на елементите и на монотонната система се описват с променливите z_i и функцията φ (които са 1 ако даден елемент работи, и 0 ако той е повреден или в процес на ремонт) [4].

$$(3-1) \quad \varphi = \varphi(z_i)$$

1.4.4 Рационално управление на профилактиката на системи и инсталации за газифициране на сгради и обекти

Ако приемем, че една система или инсталация за газифициране на сграда или обект (разглеждана като монотонна система) работи без отказ, определено време след въвеждане в експлоатация, т.е. след време t_{np} е необходимо да ѝ се проведе профилактичен ремонт (ПрР). Изменението на функцията на отказ $O(t)$ на системата, която нараства до определена стойност, зависи от времето между профилактичните ремонти както е показано на фиг. 29 [4]. При евентуално възникване на авария преди планирания профилактичен ремонт се извършва аварийен ремонт (АвР). Може да се приеме, че и в двата случая - на профилактичен или на аварийен ремонт системата или инсталацията за газифициране на сграда или обект се възстановява напълно.

При тази постановка математическото очакване на времето на аварийен ремонт t_{av} , се определя чрез броя на профилактиките n , извършвани през време t_{np} по формулата [4]:

$$(3-10) \quad t_{av}(t_{np}) = \sum_{n=0}^{\infty} (1 - O(t_{np}))^n \cdot \int_{n \cdot t_{np}}^{(n+1) \cdot t_{np}} (1 - O(t - n \cdot t_{np})) \cdot dt$$

При налични данни от експлоатацията за конкретна система или инсталация за газифициране на сграда или обект може да се определи вида на разпределението на отказите на системата, и по зависимост $t_{av}(t_{np})$ съответно да се определи доколко честотата извършване на профилактични ремонти би могло да намали вероятността за възникване и честотата на отказите. Това определено би имало значителен принос за повишаване надеждността на системите и инсталациите за газифициране на сгради и обекти в практиката.

1.5 Изводи, цел и задачи на дисертационния труд

Направеният преглед на информационните източници и анализът на селектираната информация позволяват да се направят редица изводи:

i. Проблемите, свързани с техническата, електрическата и пожарната безопасност в газифицирани обекти и обекти с газови уреди и уредби са много актуални, важни и в редица случаи в практиката са неотложни за решаване, или най-малко подлежащи на конкретна програма за изпълнение.

ii. Законодателството в тази област в ЕС и у нас е развито в общия случай обобщено и в недостатъчна степен детайлизирано. Например:

- Обектите и съоръженията за пренос, съхранение, разпределение и доставка на природен газ се проектират и изграждат съобразно изискванията на съответните нормативни български и европейски актове, но те в редица случаи те не са детайлизирани относно организацията и отговорността за контрола за спазване на съответните изисквания при проектиране и експлоатацията в обектите и съоръженията.

- Хармонизираните стандарти за изпитвания и за класификация на пожар не разглеждат въпросите за токсичността на дима при пожар. Като се има в предвид, че за голям брой от пострадалите/загиналите по-тежкото им поражение е от вдишването на токсичен дим, може да се направи заключение, че това е сериозен пропуск на стандартите.

iii. Големият брой инциденти с газови уредби в различни сектори на икономиката, социалните дейности, домакинствата, в отделни случаи дори в обекти на

здравеопазването, показват безусловно необходимостта от усъвършенстване на нормативната уредба и контрола за спазване на регламентираните с нея изисквания.

iv. Няма практика да се извършва анализ на функционалната ефективност на противопожарни системи за сгради, който е необходим за да се установят проблемите, последиците и да се вземат необходимите мерки преди възникване на инцидентите. Също така не се създават математически и/или компютърни модели за анализ и решаване на противопожарни задачи, които са необходими, като се има предвид сложността на проблема с пожарите в сгради, вкл. поради прякото въздействие на огъня върху изолация на електрическите инсталации и върху домакинските уреди от всякакъв вид (електрически или газови) в газифицирани сгради. Това не позволява да се прогнозира последиците без достоверен най-лош сценарий, не може да се направи оценка дали пътищата за евакуация ще останат достъпни и безопасни, и др.

v. Поради специфични характеристики и организационни условия за работа в различните обекти няма как да се създадат общовалидни правила за работа електрически инсталации и уредби с ниско напрежение. Затова често липсващото в практиката дефиниране на отговорностите и правомощията длъжностните лица в обекта за извършване на електрически работи, за състоянието на оборудването и за осигуряване на електрическа безопасност при експлоатацията му, е съществен пропуск на регламентиращите документи на ниво обект.

vi. Динамиката на факторите, влияещи върху степента на електропоражение в сложна пожарна обстановка в газифицирана сграда е трудно предвидима, но е сигурно, че неимоверно увеличава опасността за човешкото здраве и живот, и също така риска от материални загуби. Поради това осигуряването на електрическата и пожарната безопасност в газифицираните сгради и обекти, трябва да бъде задача с най-висок приоритет в практиката.

vii. Констатацията, че значителна част от инцидентите в газифицирани обекти и обекти с газови уреди и уредби са свързани с причини от електрически характер, определя ориентацията на настоящото изследване и дисертационния труд като мотивирана и значима по важност за обществото.

Въз основа на направения анализ на състоянието на проблема, на базата на проучването на възникнали пожари и взривове в газифицирани сгради и обекти, или с газови уреди и уредби в негазифицирани сгради, по-специално по причини от електрически характер след 2000 г. в България, и прегледа на законодателството по електро- и пожаробезопасност на ЕС и на България в тази област, е дефинираната следната

Цел на дисертационния труд:

Анализ на нормативната съвместимост и на електрическата и пожарната безопасност в газифицирани сгради и обекти, и при използване на газови уреди и уредби в негазифицирани обекти в България, и дефиниране на препоръки и мерки за намаляване на риска при експлоатацията им.

За постигане на целта са формулирани следните

Основни задачи на дисертационния труд:

1) Анализ на основните характеристики на най-често прилаганите в България системи и инсталации за газифициране на различни видове сгради и обекти, преглед на изискванията и мерките за намаляване на риска от аварии в тях.

2) Анализ и оценка на съвместимостта на типови проекти и изпълнени системи и инсталации за газифициране на сгради и обекти с изискванията на законодателството на ЕС и на България, относно електрическата и пожарната безопасност.

3) Анализ на организацията и ефективността на мониторинга и контрола на газифицирани сгради и обекти, и на газови уреди и уредби в негазифицирани сгради, МПС и други в практиката.

4) Компютърно моделиране на типова газифицирана сграда, разработване и анализ на сценарии на потенциални събития с пожари и взривове по причини от електрически характер

5) Дефиниране на препоръки към проектирането, монтажа, експлоатацията, мониторинга и контрола на системите и инсталациите за газифициране на различни видове сгради и обекти, за намаляване на риска от аварии и повишаване на тяхната безопасност и сигурност в практиката.

ГЛАВА 2. ОЦЕНКА НА СЪВМЕСТИМОСТТА НА ТИПОВИ ПРОЕКТИ (НА РБ И НА ЕС) И АНАЛИЗ НА ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ НА СИСТЕМИ И ИНСТАЛАЦИИ, ОТНОСНО ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА И ПОЖАРНА БЕЗОПАСНОСТ, МОНИТОРИНГ И КОНТРОЛ НА ГАЗИФИЦИРАНИ СГРАДИ И ОБЕКТИ, И НА ГАЗОВИ УРЕДИ И УРЕДБИ В НЕГАЗИФИЦИРАНИ СГРАДИ И МПС

Съоръженията и инсталациите за доставка на природен газ са обект на повишено внимание от страна на надзорните органи и газа като флуид с особена опасност изисква стриктно спазване на редица изисквания при проектирането и монтажа на газови уреди и инсталации, които го отвеждат до потребителите. Основната задача на проектантите и доставчиците е, при спазване на всички правила и разпоредби, да осигурят постоянен и непрекъснат поток на газ към потребителите. В практиката са възможни различни схеми на работа на инсталациите за природен газ. Безспорно е важно да се отбележи, че във връзка с пожарната безопасност те постоянно се доразвиват и усъвършенстват, а проектирането им за съответния обект се извършва в зависимост от неговите специфики [20].

2.1 Съвместимост на типови проекти и изпълнени системи и инсталации за газифициране на сгради и обекти с нормативните изисквания относно електрическата и пожарната безопасност

Анализ относно съвместимостта на типови проекти и изпълнени системи и инсталации за газифициране на сгради и обекти у нас с изискванията на основни нормативни документи (на РБ и на ЕС) в аспектите на електрическата и пожарната безопасност, е направен по-долу. За целите на дисертацията са селектирани и анализирани няколко типични проекти, реализирани на територията на гр. София и Софийска област.

2.1.1 Проект на газификация на складова база на фирма „Елит авто България“ АД в м. Врана-Лозен, р. Панчарево, град София

Работният проект на газоснабдяването на складова база на фирма „Елит авто България“ АД в м. Врана-Лозен, р. Панчарево, град София, е изготвен от Бестмарк инженеринг – ЕООД гр. София

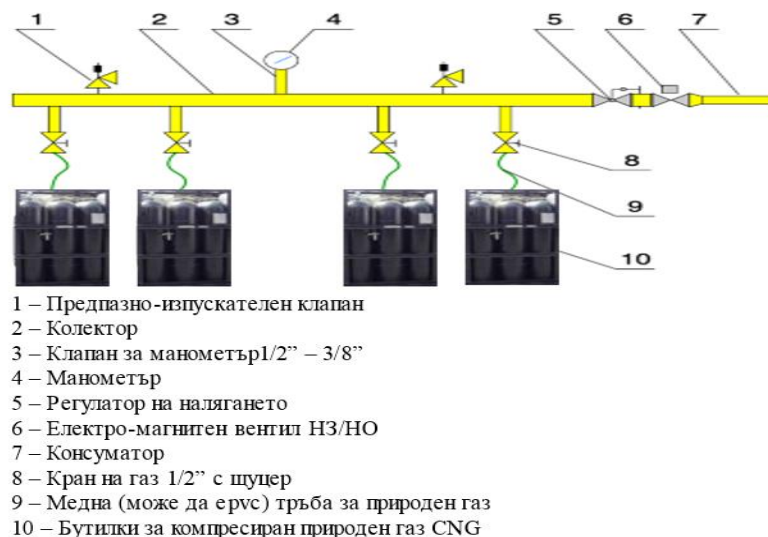
2.1.2 Проект на газификация на 200 ОУ „Отец Паисий“ с. Лозен, Софийска област

Проект на газификацията е изготвен от „Промислена енергетика“ АД, гр. Ямбол през м. октомври 2014г.. Дружеството е член на „Камарата на строителите в България“

2.1.3 Проект на вътрешна газова инсталация на еднофамилно жилище на 3-ти етаж в многофамилна жилищна сграда намираща се в с. Лозен на улица „Чемшир“

2.2.1 Бутилкова инсталация за природен газ

На фиг. 18 е показана схема, която представя варианта, при който доставката на газ от централната магистрала е невъзможна. При този вариант се практикува газифициране чрез бутилковата инсталация за природен газ. Принципната схема на фиг. 20 показва детайлно захранването на консуматор с малък капацитет на газовите уреди. Газовата фаза на природният газ се подава от група промишлени бутилки.



Фиг.20. Принцип на действие на бутилкова инсталация

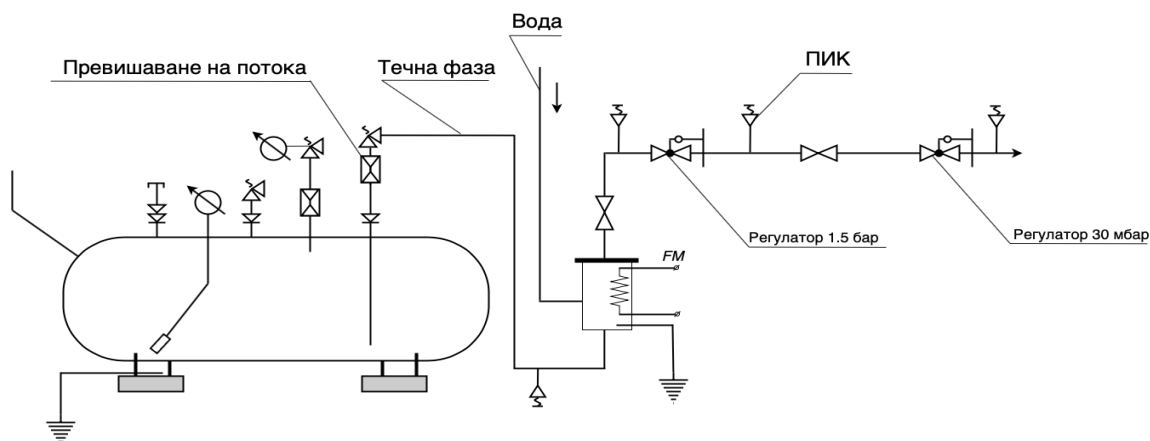
Всички бутилки се монтират на обща метална рамка с подходящите устройства за механизано товарене и разтоварване. С цел запазване на непрекъснатост на газоподаването 12 броя бутилки са последователно свързани и обединени, така че ако газът в едната бутилка свърши, започва да се тегли от следващата. Както беше посочено модулите са разположени на открито на място удобно за обслужване по време на експлоатация и отговарящо на нормативните изисквания – 3 метра от сградата. Бутилковата инсталация е монтирана върху бетонова площадка.

При изборът на такава инсталация трябва да се спази изискването модулите да са заземени да са поставени на метална рампа с необходимата товароносимост, която се свързва към заземителна инсталация. Друго изискване за модулите е да се изгради мълниезащитна инсталация, която да покрива периметъра.

2.2.2 Инсталация за пропан-бутан с резервоар

Инсталацията с резервоар включва специални контейнери, предназначени за съхраняване на втечнен газ. Резервоарите с променлив обем се използват широко в промишлеността, но в ежедневието трябва да се използват само резервоари с постоянен обем. Това се дължи на изискванията за сигурност. Общият обем на резервоарните групови инсталации е най-много 20 m³ при надземни резервоари и най-много 50 m³ при подземни. Единичната вместимост на надземните резервоари се допуска да бъде най-много 10 m³, а за подземните - 25 m³. Работното налягане на газа в газовия резервоар трябва да бъде 16 атмосфери [53].

Схемата на фиг. 22 представя типично решение за захранване на малък консуматор със сравнително малка мощност, като газовата фаза се подава от резервоар.



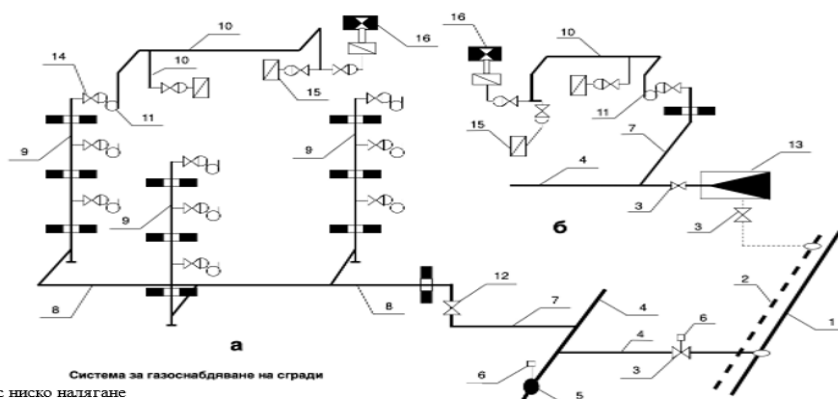
Фиг.22. Газова инсталация с резервоар за захранване на средни и големи консуматори

Като разновидност на резервоара по-горе, е представен газов резервоар за монтаж под земята. Изборът на разположението на резервоара до голяма степен зависи от естеството на използването на газа. Подземните резервоари за съхранение на газ са по-търсени от наземните модели, защото осигуряват стабилна температура на съхранение на втечнен газ. Въпреки че инсталирането на наземен резервоар за газ е по-лесно, има повече проблеми с работата му. Поради влиянието на високите и нестабилни температури на такива устройства се налагат по-строги изисквания за безопасност. Цената на наземните инсталации също обикновено е по-висока, отколкото за подземните такива.

Газовите резервоари, предназначени за монтаж под земята, се считат за по-надеждни и безопасни. Инсталирането им обаче изисква повече време, разходи и усилия. Това се дължи на по-мощната работа. Системата за контрол на газовия резервоар е инсталирана на горния му капак. Манометърът позволява да се контролира налягането вътре в резервоара, което не трябва да надвишава критичните граници.

2.2.3 Сградна газова инсталация

Като основни елементи на една сградна газоснабдителна система, показана на фиг.24, могат да се определят сградно газопроводно отклонение, главни хоризонтални (разпределителни) клонове, вертикални газопроводни клонове, етажни (жилищни) клонове, спирателна, предпазна и регулираща арматура, контролно-измервателна и предпазна апаратура, газопотребителни съоръжения [22].



а – снабдяване от газопровод с ниско налягане
б – снабдяване от газопровод със средно или високо налягане
1 – селищна газопроводна мрежа с ниско налягане; 2 – селищна газопроводна мрежа със средно или високо налягане; 3 – спирателен кран; 4 – вътрешно квартална (дворна) газопроводна мрежа; 5 – кондензен сифон; 6 – предпазна гарнитура; 7 – сградно газопроводно отклонение; 8 – главни хоризонтални (разпределителни) клонове; 9 – вертикални газопроводни клонове; 10 – етажни (жилищни) клонове; 11 – разходомер; 12 – главен спирателен кран; 13 – газорегулаторен пункт; 14 – сферичен спирателен кран; 15 – газопотребителни съоръжения; 16 – система за отвеждане на изгорелите газове

Фиг.24. Примерна система за газоснабдяване на сгради

Като източник за доставка на газ могат да се използват селищните газопроводни мрежи или газови уредби за втечнен газ. Жилищните сградни газопроводни инсталации най-често се свързват газопроводни мрежи с ниско налягане. При липса на достатъчна мощност или липса на мрежа от такъв тип е възможно захранване от мрежи със средно и високо налягане посредством газорегулаторни пунктове.

2.3 Изисквания за спазване правилата за пожарна безопасност и електробезопасност

Решенията за местата на разполагане на газовите устройства се вземат според желанието на потребителя, като разбира се трябва да са съобразени с изискванията към помещенията за монтаж, посочени в наредбите. Налице са някои общи изисквания от гледна точка на пожарната и експлоатационна безопасност, вентилацията в помещенията и осигуряването на въздух за горене. Тръби или тръбопроводи за запалителни или взривоопасни продукти, прокарани в затворени сгради, трябва да са снабдени с прекъсващи или затварящи устройства на безопасни разстояния [17]. В тази връзка не се допуска монтиране на газови уреди описани [89]. Контактът на газовите уреди с газовото съоръжение (разходомера за газ) се изпълнява посредством газопроводна инсталация. Тази инсталация включва следните елементи: тръбопроводи, фасонни части и свързващи елементи, отсекателна арматура, изолационни елементи, регулатори за налягане и разходомери (допълнително на тези в газовото съоръжение), гъвкави връзки, филтри за газ и други. БДС EN 10216-2:2014 определя кои видове тръби са разрешени за използване.

Електрозахранването на газовите уреди задължително трябва се извършва на отделни токови кръгове от най-близките електрически табла посредством кабели ШВПС 3x1,5mm², през еднополюсни автоматични прекъсвачи в панцерни кутии, като същите трябва да са монтирани в близост до съответните уредите. Кабелите се монтират със скоби по стената или се полагат в кабелни канали. Разполагат се на разстояние не по-малко от 0,2 m под газопровода. Свързването на захранващия кабел към на уредите се извършва съгласно предписанието в инструкцията за експлоатация на фирмата производител [21]. Много важно изискване към инсталацията свързвана със захранващия кабел е задължително да бъде заземена. При новостроящи се сгради тези захранващи кабели на електрическите уреди се полагат в мазилката, а еднополюсните автоматични прекъсвачи се монтират в локалното/те електрически табла. Разбира се, отоплението с газ си има своите проблеми, с които потребителите трябва да са запознати, преди да започнат газификация. Основният негатив на газовите инсталации е потенциалната възможност за експлозия.

Друг негативен аспект на газификацията на жилището е зависимостта от електрозахранването. По-голяма част от уредите се контролират по електронен път и ако то се прекъсне, след това при възстановяване топлоносителят в системите циркулира със сила при включването на помпата. Проблемът се решава чрез непрекъсваемото електрозахранване (UPS - uninterruptible power supply). UPS необходимо устройство при захранване на отговорни потребители, вкл. газови уредби, където са вероятни неизправности в електрическата инсталация, внезапно отпадане на напрежението поради аварии в електроразпределителните или преносните системи.

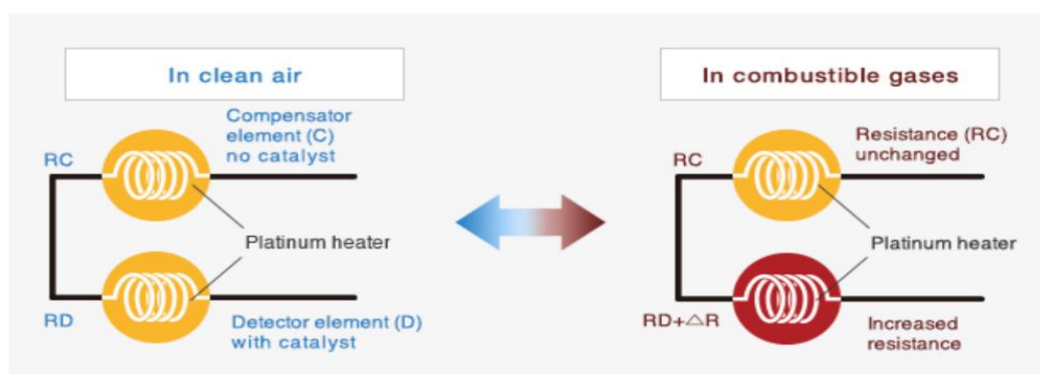
В обобщение, изграждането на газови инсталации трябва да става само от опитни и с необходимата квалификация професионалисти, защото при неправилно инсталиране системата не само ще бъде неефективна, но и опасна.

2.4 Анализ на организацията и ефективността на мониторинга и контрола на газифицирани сгради и обекти, и на газови уреди и уредби в негазифицирани сгради и МПС

2.4.1 Сензори за сигнализиране при изтичане на газ

В практиката, особено в битовия сектор, често възникват ситуации, които не могат да се предвидят. Неизправен вентил на газова бутилка може да доведе до изтичане на газ, най-често пропан-бутан, и при възникване на искра (най-често е породена от неизправен електрически уред, късо съединение и т.н.) това води до рязко повишаване на опасността от взрив и пожар [8]. Сензорът за изтичане на газ е направен под формата на малко устройство, състоящо се от корпус с разположени в него газови анализатори. В практиката се предлага широка гама от сигнални устройства за домашна употреба, способни да разпознават природен газ, пропан-бутан и техните продукти от изгарянето - въглеродни оксиди, както и мощни многофункционални устройства, предназначени за монтаж в големи производствени съоръжения, складове с горими материали и в промишлени работилници[36].

Каталитичният газов сензор се състои от два елемента: детектор (D), който съдържа каталитичен материал и е чувствителен към горими газове и компенсаторен елемент (C), който е инертен. Горимите газове ще изгорят само върху детекторния елемент, причинявайки повишаване на температурата му и като следствие, повишаване на съпротивлението му [103].



Фиг. 31. Принцип на работа на каталитичен газов сензор

При всички изброени предимства на устройствата сигнализиращи образуването на опасни газови концентрации е съществен пропуск на законодателя тези устройства да не са задължителни след монтажа на газова инсталация на места с газови уреди, котелно помещение, а също и на затворени пространства, през които преминава газовата инсталация.

2.4.2 Анализ на организацията и ефективността на мониторинга и контрола на АГУ на МПС

В таблици 6 и 7 в сектор транспорт по-горе, първата причина за възникване на инциденти е техническа неизправност, която от своя страна не е конкретизирана. Във всеки автомобил има голям брой компоненти, които могат да се повредят и да доведат до пожар. На следващо място като причина за пожар е посочено късо съединение. При изтичане на газ в купето на автомобила (образуване на експлозивна концентрация) и при поява на искра от късо съединение последиците може да са фатални. За това изправността на АГУ е от изключителна важност.

Около 30% от бензиновите автомобили у нас са с газови уредби[117]. Изправността на газовите уредби се проверява веднъж годишно по време на задължителните технически прегледи на колите. До средата на 2019г. през технически прегледи са преминавали около 200 000 автомобила с газови уредби. Но при приближавана крайният срок за регистрация 11.2020г. тази бройка се увеличава с 75% и достига около 350 000[120]. От това може да се направи извод, че до преди 11.2020г. контролът и мониторинга на АГУ е не задоволителен и по-скоро е просто формалност. Реално от 11.2020г. се задължава пет степенната защита на АГУ. А както е показано в таблица 3 и 4 аварията не липсват.

Въпреки закъснените действия по легализацията на изправността на АГУ, това е правилният път.

ГЛАВА 3. КОМПЮТЪРНО МОДЕЛИРАНЕ НА ТИПОВА ГАЗИФИЦИРАНА СГРАДА, РАЗРАБОТВАНЕ И АНАЛИЗ НА СЦЕНАРИИ НА СЪБИТИЯ С ПОТЕНЦИАЛНА ОПАСНОСТ ЗА ВЪЗНИКВАНЕ НА ЕКСПЛОЗИЯ И ПОЖАРИ, ПО ПРИЧИНИ ОТ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ХАРАКТЕР

3.1 Базов модел на разпространението на пожар в сграда

За целите на дисертацията на базата на съществуващ модел на разпространението на пожар във високи сгради, сгради с атриуми и в превозни средства [3], в т.5.5 е адаптиран и приложен модел на разпространението на пожар по причина от електрически характер в газифицирана сграда.

Пожарът е неконтролируемо горене, което води до големи материални загуби и човешки жертви. Процесите, които протичат по време на пожара зависят главно от физическото състояние и концентрацията на горимият материал, параметрите на околната среда (вид и обем на пространството, скорост, турбулентност и др.) и на последно място е химическия състав. Според [37], [38] най-голямо влияние на динамиката на пожара оказва интензивността на отделяне на енергия $\dot{Q}_C$. Тя се определя по:

$$(5-1) \quad \dot{Q}_C = \alpha \dot{m} A_f \Delta H_C$$

$A_f [m^2]$ - площ на горящия материал; $\Delta H_C [kJ / kg]$ - топлина на изгаряне на газифицираните вещества; α - коефициент, който отчита непълното изгаряне.

Направен е извод в [37] и [38], че скоростта на дифузия на газовете е голяма, следователно термодифузията и турбулентната дифузия трябва да се отчетат. И двата процеса са неизменна част от съставянето на системни уравнения на математическия модел на пожара. В този модел трябва да присъстват и допълнителни уравнения описани в дисертацията, взаимни връзки и зависимости.

3.2 Разработване и анализ на сценарии на събития с потенциална опасност при изтичане на природен газ и възникване на пожар, взрив и прогнозиране на последиците

Потенциална опасност за възникване на пожари и взривове в газифицирани сгради и обекти, по причини от електрически характер, е типично да възникне по сценарий „Образуване на опасна среда поради изтичане на газ в помещения и поява на искра от електрически уред или инсталация“. За да се направи правилна оценка и за да се вземат решения при пожаро- и взривообезопасяването на тези инсталации е необходимо сравнително точно да се прогнозира или оцени реално изтичането на газ и вероятните последици от най-тежките за дадена инсталация аварии. За целта се определят величини в определена последователност [49].

3.3 Динамика на пожара и въздействието му върху заобикалящата го среда в газифицирани сгради и обекти

При всеки един пожар независимо дали затихва или се разпространява, постепенно се отделя определено количество енергия и се генерират вторични продукти от горенето. Ако в една газифицирана сграда в дадено помещение се достигне експлозивна концентрация на природен газ, поради неконтролируемото изпускане на същият, всяка

искра с достатъчно енергия може да предизвика експлозия, при която количеството енергия нараства мигновено. Енергията, която се генерира се преобразува в топлина, която само по себе си е продукт на горенето. То пряко зависи от количеството постъпващ или наличен кислород. Пълното изгаряне може да се осъществи само при наличие на достатъчно количество кислород. При липса на такова количество кислород процесът на горене/пожарът затихва и може да се самозагаси. Газовете и вторичните продукти, които се образуват в резултат на горенето могат да се запишат, като закон за запазване на масата на i -тия газ има вида:

$$(5-53) \quad \rho \frac{\partial \chi_i}{\partial t} + \rho u \frac{\partial \chi_i}{\partial x} + \rho v \frac{\partial \chi_i}{\partial y} + \rho w \frac{\partial \chi_i}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\rho (D_i + D_T) \frac{\partial \chi_i}{\partial x} \right] + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho (D_i + D_T) \frac{\partial \chi_i}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\rho (D_i + D_T) \frac{\partial \chi_i}{\partial z} \right] + m_i;$$

където: χ_i - масова концентрация на i -тия газ;

$D_i [m^2 / s]$ - коефициент на дифузия на i -тия газ;

$D_T [m^2 / s]$ - коефициент на турбулентна дифузия; $m_i [kg / s.m^3]$

3.4 Въздействие върху ограждащите повърхности

Всеки пожар оказва влияние на околните повърхности. Затова трябва да се имат предвид параметрите на топлопроводимостта на обектите, ако пожарът е в сграда и трябва да се определи какво влияние оказва на колоните на сградата. Това води до компрометиране целостта на колоните и нарушава устойчивостта на конструкцията и може да доведе до нейното разрушаване. Необходимо е да се определи температурното поле, което възниква в ограждащите стени, подове, тавани, колони и прегради. Трябва да се отчетат началните и гранични условия.

Уравнение на топлопроводимостта

Уравненията на топлопроводимостта в тримерен вид в декардова координатна система имат вида:

за стените:

$$(5-75) \quad \rho_w C_w \frac{\partial T_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_w \frac{\partial T_w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_w \frac{\partial T_w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_w \frac{\partial T_w}{\partial z} \right) + q_{vw}$$

за пода:

$$(5-76) \quad \rho_f C_f \frac{\partial T_f}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_f \frac{\partial T_f}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_f \frac{\partial T_f}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_f \frac{\partial T_f}{\partial z} \right) + q_{vf};$$

за другите прегради:

$$(5-77) \quad \rho_c C_c \frac{\partial T_c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_c \frac{\partial T_c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_c \frac{\partial T_c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_c \frac{\partial T_c}{\partial z} \right) + q_{vc}$$

където: $T_w, T_f, T_c [K]$ - максимална температура на материала съответно на стените, на пода и на преградите;

$C_w, C_f, C_c [J / kg.K]$ - специфично топлосъдържание на материала съответно на стените, на пода и на преградите;

$\lambda_w, \lambda_f, \lambda_c [W / m.K]$ - коефициент на топлопроводимост съответно на стените, на пода и на преградите;

$q_{vw}, q_{vf}, q_{vc} [W / m^3]$ - интензивност на вътрешни източници на топлина съответно от стените, от пода и от преградите.

Когато не настъпват фазови преходи вътре в материалите на конструкциите се приема, че $q_{vw} = q_{vf} = q_{vc} = 0$.

При наличие на фазови превръщания, вътрешните източници на топлина се определят съгласно [60], [61], [65], [71].

Изчисляване на колоните

При колони с кръгла форма на напречното сечение уравнението на топлопроводност (5.70) се решава в цилиндрични координати.

(5-78)

$$\rho_k C_k \frac{\partial T_k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_k \frac{\partial T_k}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial T_k}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\lambda_k \frac{\partial T_k}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_k \frac{\partial T_k}{\partial z} \right) + q_{vk},$$

където: $r [m]$ - координати по радиуса на колоната; $\theta [rad]$ - ъглови координати; $z [m]$ - координати по височина на колоната;

$T_k [K]$ - локална температура на материала на колоните;

$\rho_k [kg / m^3]$ - плътност на материала;

$C_k [J / kg.K]$ - специфично топлосъдържание;

$\lambda_k [W / m.K]$ - коефициент на топлопроводимост на материала на колоната;

$q_{vk} [W / m^3]$ - интензивност на вътрешните източници на топлина.

При липсата на фазови превръщания във вътрешността на материала на колоните се приема $q_{vk} = 0$.

3.5 Сценарий и моделиране на пожар по причина от електрически характер в газифицирана сграда

Въпреки че в общия случай образуването на взривоопасна смес в жилищни сгради е малко вероятно, то може да се случи и това е видно от редица случаи в практиката. Поради това трябва да се анализират причините за съответните инциденти, свързани с неконтролирани изтичания на газ и последващ пожар, експлозия или и двете. Трябва да се предприемат и мерки за ограничаване на появата на такива инциденти. Това е така, защото тези събития са свързани с много висок риск от големи материални загуби и човешки жертви. В много случаи възпламеняването на получената взривоопасна концентрация на природен газ се дължи по причина от електрически характер, например искра (най-често от работещ или включен електрически уред).

3.5.3 Адаптиран математически модел на разпространението на пожар, причинен от електрически характер в газифицирана сграда

Потенциалната опасност от пожар и експлозия в газифицирани сгради и съоръжения по причини от електрически характер обикновено се създава от опасна среда поради изтичане на газ в помещенията и искра от електрически уред. В т. 3.2 е даден примерен сценарий за образуване на взривоопасна концентрация на природен газ и какви биха били последиците в случай на електрическа искра. Въз основа на горепосочения базов математически модел, тук е представен адаптиран математически модел на събитията, които се развиват в помещение, в което има неконтролируемо изтичане на газ. Първо трябва да се вземе предвид количеството газ, което изтича в помещението. Според специфичните особености на всеки обект налягане му може да варира. Например както е показано в Глава III за обекта в т. 2.1.1 то е 4 bar, а за обекта в т. 2.1.3 то е 0,02 bar.

Основните стъпки на адаптирания математически модел на пожар по причина от електрически характер в помещение, в което има неконтролируемо изтичане на газ са:

1) Определяне количеството изтичащ газ в помещението

$$G = K.C.N \sqrt{\frac{\mu i}{T_{gt}}} \quad , \quad (5.70)$$

където: G - количество изтичащ газ в помещението [m³] :

K - коефициент на сигурност, отчитащ степента на износване на оборудването K=1÷2;

C – коефициент, зависещ от налягането на газа в инсталацията.

При налягания до 40 at^m. =>

$$C = 0,1666. P^{0,057} = 0,166. 0,02^{0,057} = 0,133$$

N – брой апарати/инсталации;

T_{gt} – температура на газа в K.

2) Определяне обемният поток на природния газ през отвора на спуканата газова тръба [m³] е

$$p_v = \frac{G}{p_0}$$

(5.71)

където: p_v - обемните разходи на природен газ чрез отваряне на

G - количеството газ, постъпващ в помещението

p₀ - плътност на газа

На база на обемния разход през отвора на тръбата се определя времето за образуване на взривоопасна концентрация, която е в границите на 5-15 % за природния газ от свободния обем на помещението.

3.) Определяне на времето, за което ще се достигне долната граница на взривяемост (t^{lel}) на природният газ (5% от свободният обем на помещението) се изразява с:

$$t^{lel} = \frac{V_{fvr} \cdot C^{lel}}{G \cdot 10^3}, \quad (5.72)$$

където: C^{lel} - долната граница на взривяемост на природният газ, [g/m³];
 V_{fvr} - свободен обем на помещението
 G - количество постъпващ газ в помещението, [kg/h].

4.) Времето, за което ще се достигне граница на взривяемост на природният газ се изчислява по:

$$t^{uel} = \frac{V_{fvr} \cdot C^{uel}}{G \cdot 10^3}$$

където: C^{uel} - горна граница на взривяемост на природният газ, [g/m³];
 G - количество постъпващ газ в помещението, [kg/h].

Огън възниква по естествен път, когато трите елемента, посочени на фигура 35, са налице и се съчетават в правилно съотношение. Съответно не може да има пожар, ако един от тези елементи е отстранен или значително намален.

Следва в адаптирания математически модел е да се определи средната концентрация на природен газ в помещението:

$$C_{gc} = \frac{p_v \cdot 100}{V_{fvr}} \quad (5.74)$$

където C_{gc} е средна концентрация на природен газ в помещението

Въпреки че средната стойност на концентрацията на природен газ в помещението вече е известна, за по-точна оценка трябва да се определи и неговото количество/маса.



Фиг. 35 Триъгълник на необходимите условия за възникване на огън

5.) Определяне масата на изтичащ природен газ в помещението в резултат на авария, се определя от

$$m = t_{\text{lei}} \cdot G$$

(5.75)

където m – мазата на горимото вещество

С натрупването на гореописаните фактори, представени с формулите 5.70 до 5.75 (последните 6 формули) са налице почти всички предпоставки за експлозия, ако има и източник на топлина или искра. Най-често този източник, когато е от електрически характер, е свързан с поява на ток на късо съединение, който се определя по формулата [1]:

$$(5.76) \quad I_{\text{max}} = \frac{E}{r}$$

Където: E е електродвижещо напрежение;

I_{max} - е максималният ток на късо съединение;

r - вътрешното съпротивление на източника

След поява на искра най-често в следствие на електрическа неизправност на електрически уред в загазовано помещение в рамките на експлозивна концентрация (5-15% от свободният обем на помещението), обикновено възниква експлозия. Тя е явление, което се характеризира с рязко повишаване на налягането, образуване на свръхналягане в помещението и освобождаване на голямо количество енергия. Свръхналягането се определя от

6.) Определяне на свръхналягането се пресмята с:

(5.77)

$$\Delta P = (P_{bp} - P_{ap}) \cdot \frac{100 \cdot M \cdot Z}{V_{\text{ivr}} \cdot p \cdot C_{sc} \cdot K_{ca}}$$

Където: P_{bp} - максимално налягане на взрива

P_{ap} - атмосферно налягане

C_{sc} - стехиометрична концентрация на горимо вещество

K_{ca} - коефициент, който отчита липсата на херметичност в помещението

Като се имат предвид формулите 5.67, 5.68 и 5.69, както и за ограждащите повърхности 5.77 за взрива, може да се дефинира математическото разбиране за това как процесите на взрив и пожар влияят върху ограждащите повърхности (стени, под), а така също и на колоните на сградата.

За колони с кръгло напречно сечение уравнението за топлопроводност се решава в цилиндрични координати. Това се изразява с уравнение (5.78)

(5.78)

$$p_k C_k \frac{\partial T_k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\lambda_k \frac{\partial T_k}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial T_k}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\lambda_k \frac{\partial T_k}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_k \frac{\partial T_k}{\partial z} \right) + q_{vk}$$

Ако тези ограждащи повърхности не са достатъчно здрави, за да издържат на налягането на взрива, ще се стигне до катастрофални резултати, показани на фиг. 32

Адаптираният математически модел на разпространението на пожар, причинен от електрически характер в газифицирана сграда е направен, като са взети в предвид вече съществуващ математически модел за пожари във високи сгради, специфичните характеристики на природният газ (граница на взривоопасни концентрации и времето за достигането им), поява на искра поради електрически характер (късо съединение) с достатъчни енергия да възпламени взривоопасната концентрация на природният газ,

влиянието което оказва всеки пожар на ограждащите го повърхности и последиците, които са нанесени по колоните на сградата от взрив, а понякога и пожар в следствие на изтичане на природен газ.

3.5.5 Хипотетичен сценарий за възможна експлозия и пожар в газифицирана сграда – необходими условия и анализ на потенциалните последици

Според различни източници налягането на взрива на въздушните смеси на природния газ варира от 706 кРа до 720 кРа (7,2 kg/cm²) [125] За изчисленията ще се вземе осреднена стойност от 713 кРа

$$\Delta P = (P_{bp} - P_{ap}) \cdot \frac{100 \cdot p_0 \cdot Z}{V_{fvr} \cdot p \cdot C_{sc} \cdot K_{ca}} = (713 - 100) \frac{100 \cdot 10 \cdot 0,5}{21644 \cdot 0,6644 \cdot 9,36 \cdot 3} = 0,76 \text{ кРа}$$

При наличие на аварийна вентилация

$$K = N \cdot t + 1 = 8 \cdot (10 / 60) + 1 = 2,33$$

$$\Delta P = \frac{0,76}{2,33} \Rightarrow \Delta P = 0,32 \text{ кРа}$$

Но след такава експлозия може да възникне пожар, който се разпространява:

• Кръгово развитие :

$$F_n = \pi \cdot (0,5 v_l t_{ch})^2 \quad (1-2)$$

където $\pi = 3,14$;

v_l - линейна скорост на дифузия на горенето, m / min;

t_{ch} - времето за свободно развитие на огъня, s.

• Правоъгълно развитие:

$$F_n = n \cdot a \cdot 0,5 \cdot v_l \cdot t_{ch} \quad (1-3)$$

където: n - брой посоки на разпределение;

a - ширината на пожарния фронт, m

Като извод може да се посочи, че методика, с която се анализират на потенциалните последици след експлозия и представеният адаптиран математически модел за този обект представя еднакви резултати (разликата е пренебрежимо малка и идва от различното налягане на взрива на въздушните смеси на природния газ).

3.5.6 Компютърна симулация на пожар по причини от електрически характер в офис сграда с локална газификация

Представени са:

- компютърна симулация за моделиране на типова газифицирана сграда,

- разработване и анализ на сценарий за възникване на пожар, по причини от електрически характер

Компютърната симулация се осъществява посредством софтуерен продукт на THUNDERHEAT engineering, чрез програмата PyroSim [48]. В случая е използвана демонстрационна версията на компютърната програма, и за целта от THUNDERHEAT engineering е получен ключ за активация със сериен номер: 5A3A A14D 6EA1 D482 5927 50.

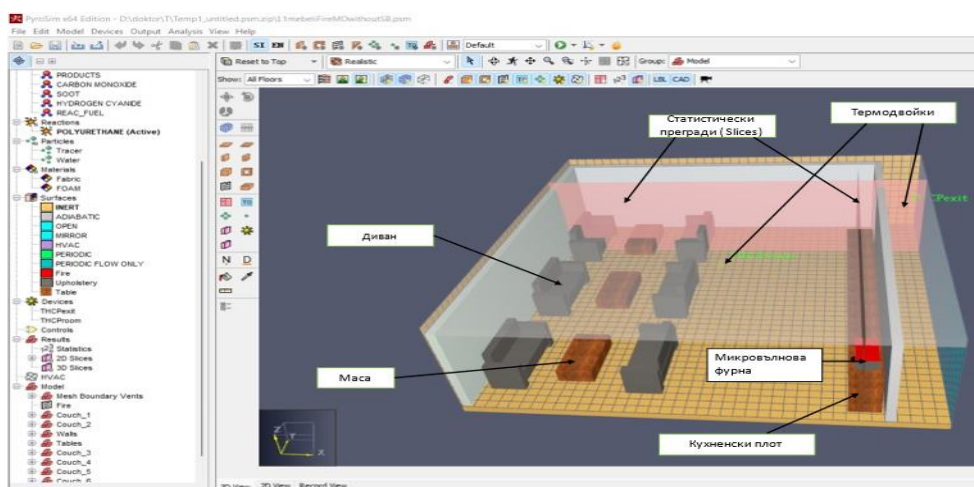
Компютърните симулации са осъществени в две групи:

- пожар в помещение без газови уреди, но с неизправен електрически уред и възникване на електрическа искра от него.
- пожар в помещение с неизправен газов уред и възникване на електрическа искра причинена от електрически уред

Във всяка група са показани по два примерни варианта на развитие на пожар - с монтирана димна преграда и без димна преграда.

Първата разгледана група (i) е пожар в следствие на възникване на електрическа искра в неизправен електрически уред - неизправна микровълнова фурна с максимална мощност от 1150 W, която е поставена в десния край на кухненския плот.

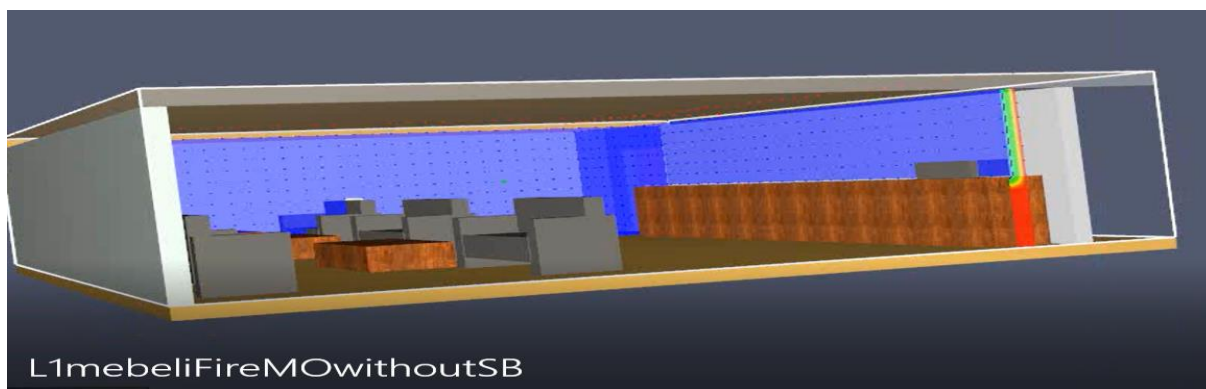
1a) Експеримент със симулация на пожар, породен от дефектирал електрически уред в помещение за отпих в офис сграда, без монтирана димна преграда



Снимка 1. Интерфейс преди стартиране на симулацията.

С THCRoom и THCPexit са обозначени термодвойките, сигналите от които се използват за последващата статистика и оформяне на графиките. Настройките на термодвойките позволяват всяка секунда да записват данните от температурата в FDS файл, който се отваря в Excel и от данните в таблицата се получават графики.

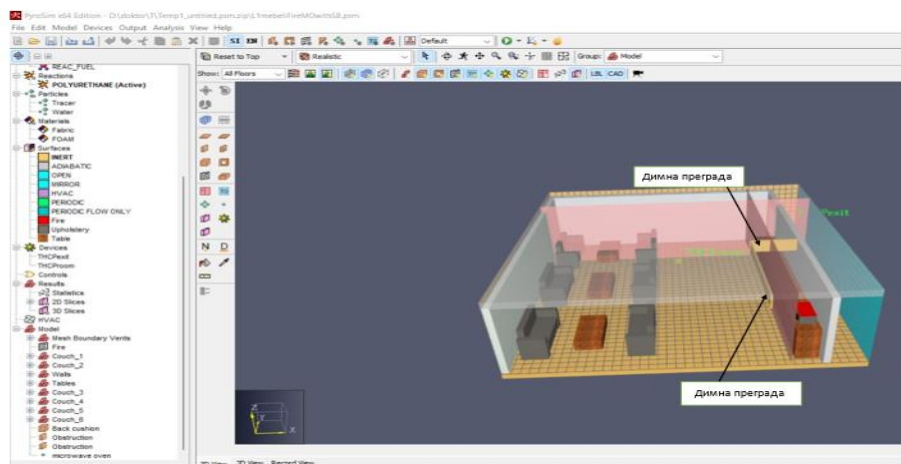
Резултатите от експеримента са представени със снимките по-долу, показващи развитието на пожара от различен ъгъл за период от 60 секунди, с ползване на различни възможности на програмата. На всяка симулация са направени по няколко снимки на даден етап от развитието на пожара.



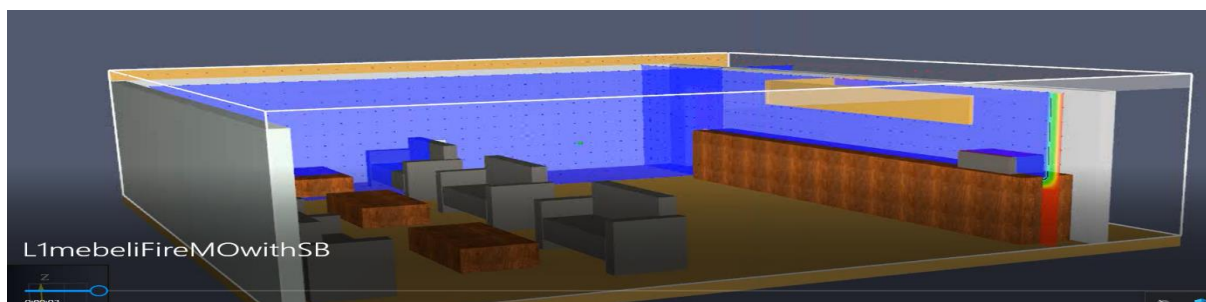
Снимки 2. Нормални състояния на въздушните течения (със син цвят е показана температура от 20 C⁰ в момента в стаята).



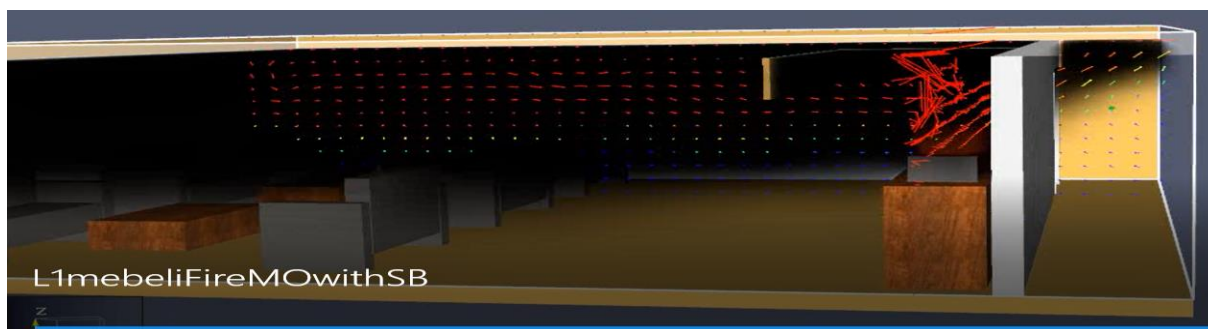
Снимка 6. Край на симулацията - разпространение на дима в помещението за отдих и коридора, и вектори на топлинните потоци.



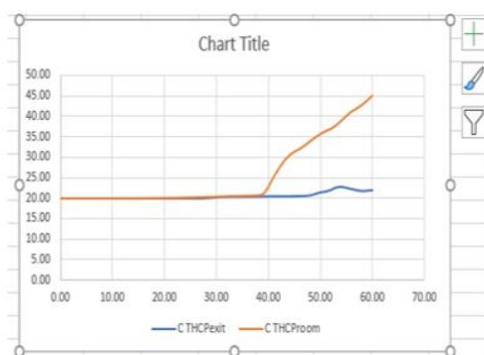
Снимка 9. Интерфейс преди стартиране на симулацията с монтирана димна преграда



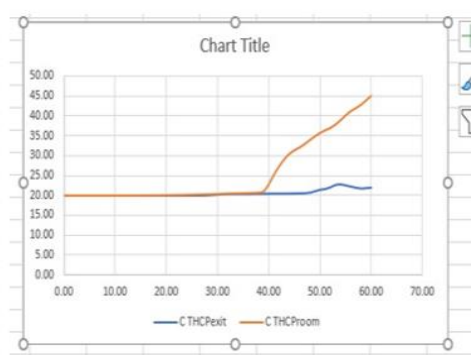
Снимка 10. Нормални състояния на въздушните течения и димната преграда (със син цвят е показана температура от $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в момента в стаята.



Снимка 14. Край на симулацията



а) без димна преграда



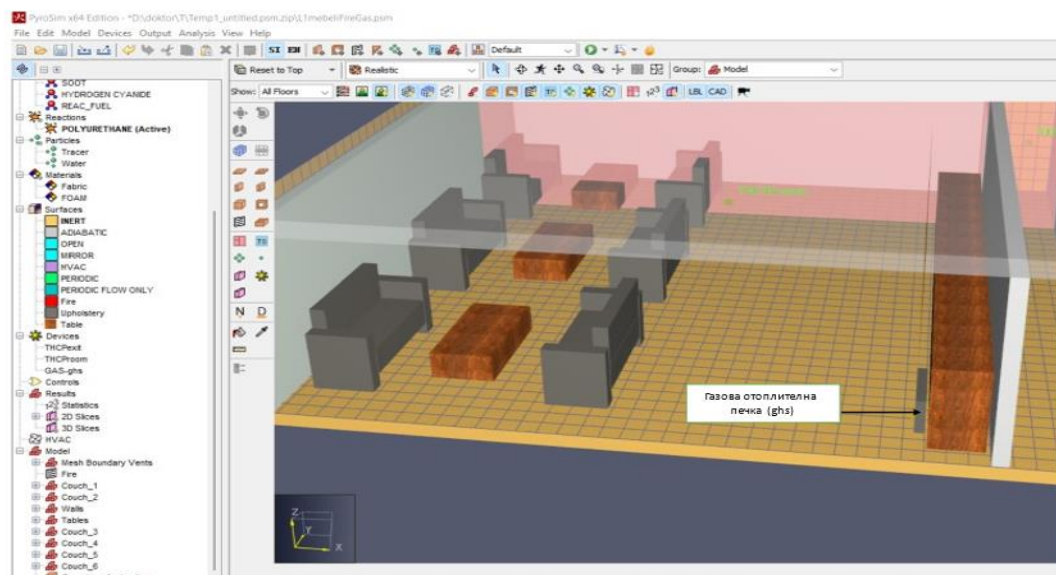
б) с димна преграда

Снимка 17. Двете графики от експеримента с дефектирал електрически уред

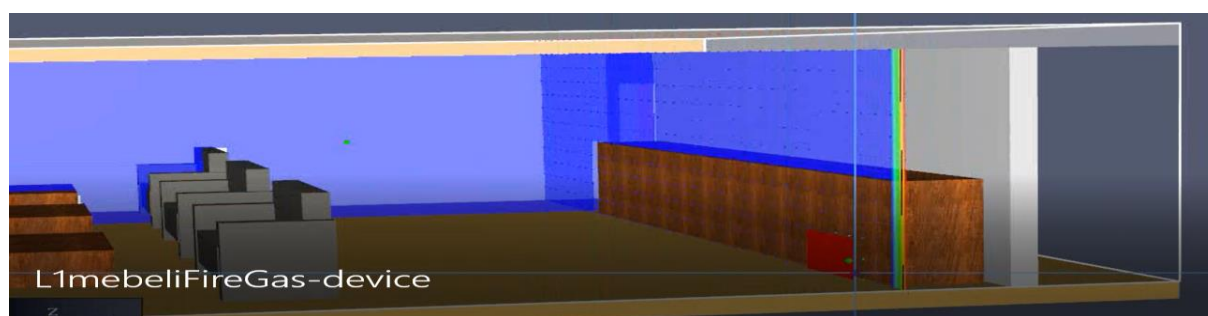
Разликите са много малки, като може да се отбележи, че в 37 секунда или 7 сек. след възникване на горенето, разликата на температурите в стаята е едва $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, като високата температура е измерена в симулацията без димна преграда.

Втората разгледана група (ii) е пожар в следствие на възникване на електрическа искра с наличен неизправен газов уред - неизправна газова печка за отопление до десният долен край на кухненският плот. Хипотетично се приема, че електрическата искра възниква в следствие на включване на електрически уред в електрическата мрежа(при допиране на тоководещите части на електрическият уред и щепселната кутия (контакт) тип Шуко, възниква електрическа искра).

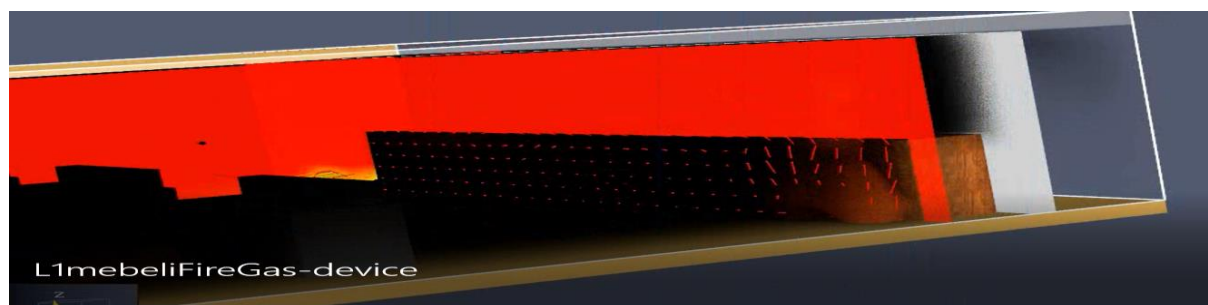
2а) Експеримент със симулация на пожар, по причини от електрически характер и дефектирал газов уред в помещение за отдих в офис сграда, без монтирана димна преграда



Снимка 18. показва интерфейса преди стартиране на симулацията с газов уред без наличие на монтирана димна преграда.

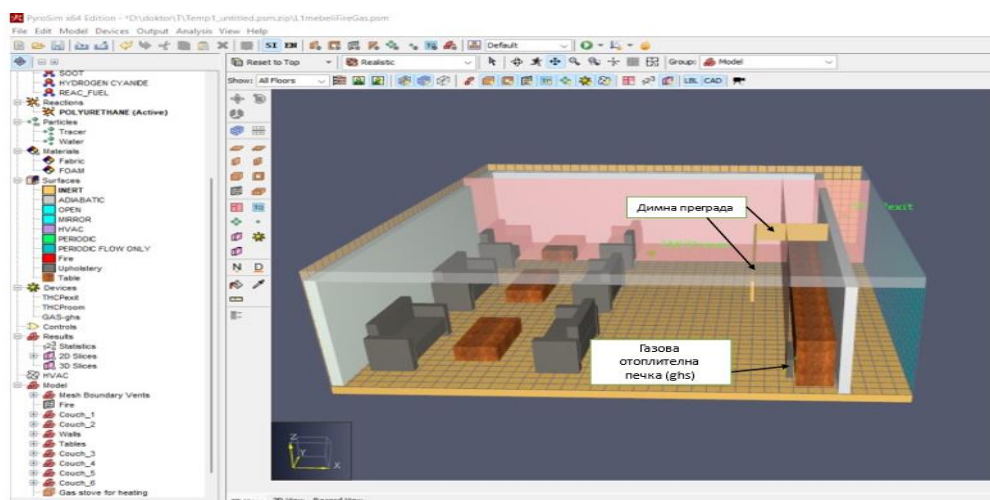


Снимка 19. Синият цвят показва моментната температура в помещението, която е 20°C .

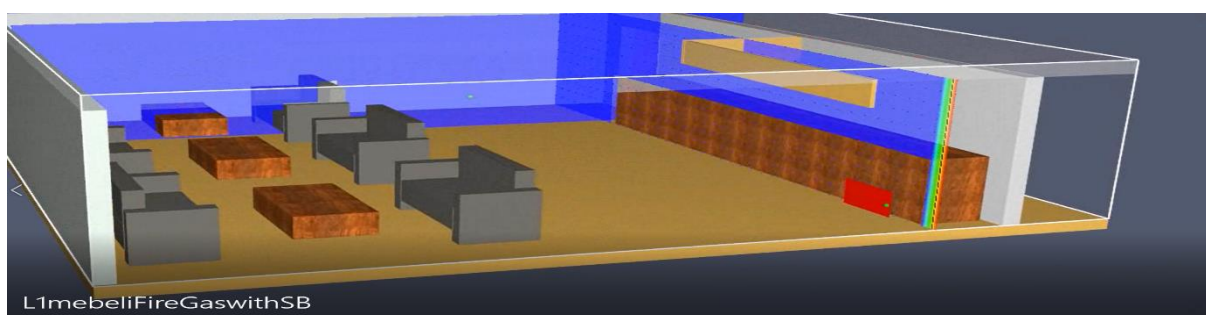


Снимка 23. Край на симулацията

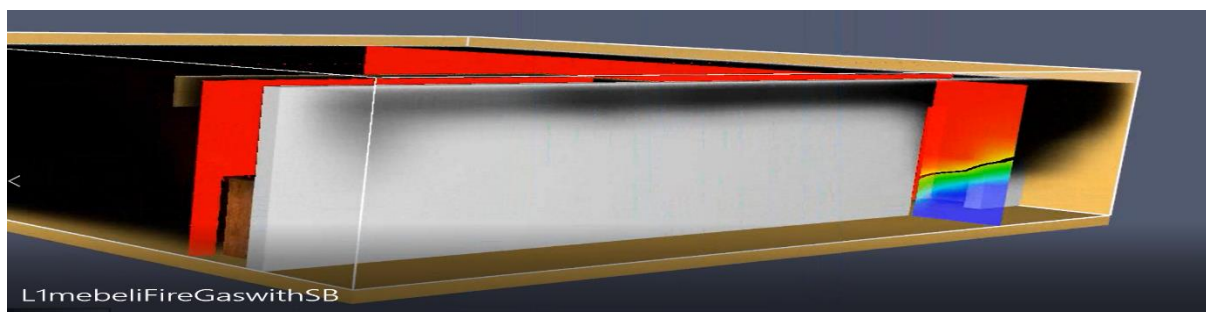
26) Експеримент със симулация на пожар, по причини от електрически характер и дефектирал газов уред в помещение за отдиш в офис сграда, с **монтирана димна преграда**



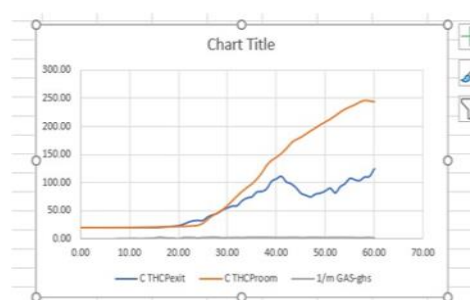
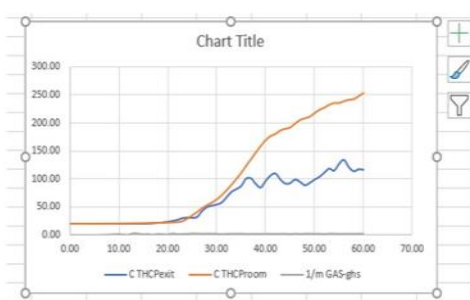
Снимка 26 показва интерфейса преди стартиране на симулацията с газов уред с наличие на монтирана димна преграда.



Снимка 27 Начало на симулацията



Снимка 31 Край на симулацията



а) без димна преграда

б) с димна преграда

Снимка 34. Двете графики от експеримента с дефектирал газов уред и наличие на електрическа искра, с и без димна преграда

Изводи от експериментите от двете групи, описани по-горе:

С горепосочената програма могат да се направят множество определения на параметрите в определени от потребителя на интерфейса точки с голяма точност. Всяка термодвойка дава информация за промяната на температурата на всяка секунда. Всички тези данни се записват в таблиците и се обработват сравнително лесно. От направените симулации може да се види „пътят“ на димните потоци. Следователно още на етап проектиране може да се разработят различни сценарии на пожар с цел да се намерят и определят опасните местата на концентрация на дим и местата за най-ефикасното му отвеждане извън помещението. Според спецификата на всяка сграда може да се наложи евакуация не по най-близкият и безопасен път, а по алтернативен път, може да се определи и докаже с помощта на компютърната симулация.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Научно-приложни приноси

1. Направен е анализ на методите за оценка надеждността, вероятността за неизправности, откази и аварии, и значимост на елементите на системи и инсталации за газифициране на сгради и обекти.
2. На основата на базов математически модел на разпространението на пожар във високи сгради, е синтезиран и адаптиран модел на разпространението на пожар по причина от електрически характер в газифицирана сграда.
3. Верифициран е адаптирания математически модел чрез изчисления на необходимия обмен на въздух, който трябва да осигури аварийната вентилация при вътрешни експлозии в сгради, за да се предотвратят фатални последици за конструктивната устойчивост на сградите и за хората, и сравняването на този обмен с посоченият като необходим в общия случай осемкратен обмен на въздух в [82]. Установено е, че за разгледаните обекти осемкратен обмен не е достатъчен и е мотивирана необходимостта вентилационният обмен да се определя чрез изчисления за тези и други подобни случаи в практиката.
4. Разработен е сценарий на пожар по причина от електрически характер в газифицирана сграда. Изследвана е динамика на пожара и въздействието му върху предмети и повърхности, и чрез компютърно моделиране са направени поредица симулации в помещения с различно оборудване, като са проследени всички фази на развитие на пожара. Определен е „пътят“ на димните потоци, които позволява на етап проектиране да се определят опасните местата на концентрация на токсичен дим и възможностите за най-ефективното му отвеждане навън, за да се постигне максимално възможна безопасност.
5. Дефинирани са препоръки за повишаване на безопасността и намаляване на риска от аварии в газифицирани обекти, и на газови уреди и уредби в негазифицирани сгради, МПС и други в практиката.

Приложни приноси

1. Направен е анализ на възникнали пожари и взривове в газифицирани сгради и обекти, или с газови уреди и уредби в негазифицирани сгради, по-специално по причини от електрически характер след 2000 г. в България.
2. Направен е преглед и анализ на основните характеристики на най-често прилаганите в България системи и инсталации за газифициране на различни видове сгради и обекти, преглед на изискванията и мерките за намаляване на риска от аварии в тях.
3. Извършено е проучване, анализ и оценка на съвместимостта на типови проекти и изпълнени системи и инсталации за газифициране на сгради и обекти с изискванията на законодателството на ЕС и на България, относно електрическата и пожарната безопасност.
4. Извършено е проучване и анализ на организацията и ефективността на мониторинга и контрола на газифицирани сгради и обекти, и на газови уреди и уредби в негазифицирани сгради, МПС и други в практиката.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Ivanov I., T. Tsankov, State of the Art safety and human health risk analysis of accidents with gas installations and appliances, in particular related with electrical origin, in buildings at Bulgaria. 10th Scientific Conference Bulef'2018, September 11-14, 2018, Sozopol Santa Marina Holiday Village, Bulgaria, IEEE Paper ID: 5765867.
2. Ivanov I., T. Tsankov, Safety culture in disasters and accidents and human health risk management, ID: 52, 6th Regional European Safe Community Conference – ESCON'2018, October 3-5, Skopje, Nord Macedonia.
3. Tsankov T., I. Ivanov, Gasification of household buildings – technical solutions, European and Bulgarian electrical safety and fire-safety requirements. Bulef-2021, IEEE Paper ID: 361257
4. Tsankov T., Scenario and modelling of fire due reason from electrical character in a gasified building. Bulef-2021, IEEE Paper ID: 361288



TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA
Faculty of Electrical Engineering
Department of Electrical Power Engineering

Teodosi Genchev Tsankov, M.Sc,

**ELECTRICAL AND FIRE SAFETY IN GASIFIED SITES AND
MEASURES TO REDUCE THE RISK OF ACCIDENTS**

ABSTRACT of Ph.D. THESIS

Practice shows that currently fires in residential, business and industrial buildings are very often due to electrical nature. Such incidents, in addition to causing serious financial damage, can also endanger human life and health. Therefore, it is important to analyze the incidents and to improve the existing or to formulate new measures to reduce the likelihood of accidents in gasified sites, regarding electrical and fire safety. To achieve this goal, a review, analysis has been made and to what extent the European legislation has been harmonized with the Bulgarian one. The main characteristics of applied in Bulgaria systems and installations for gasification of buildings and sites, and their control in practice are considered. We are shown the most frequently used principle schemes of gasification installations with both natural gas and propane-butane. Schemes with local and gasification from the urban network are also considered. Attention has also been paid to methods of analysis and assessment of the risk, reliability and their applicability for systems and installations for gasification of buildings and sites, briefly described by some methods. There are noted also some sensors that signal a gas leak. There is also a place for the organization and efficiency of the monitoring and control of the autogas systems of the vehicles.

The main part is the creation of an adapted mathematical model of the spread of fire caused by electrical nature in a gasified building and forecasting the consequences. Based on the mathematical model, a computer simulation of a fire for electrical reasons was made in an office building with local gasification. Then recommendations are written for the design, installation, operation, monitoring and control of systems and installations for gasification of sites, and of gas appliances and systems in non-gasified buildings.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторът изказва специални благодарности на:

На катедра “Електроенергетика” и Лаборатория „Безопасност и инженерна екология“ на Електротехническият Факултет на Технически Университет – София за предоставената ми възможност и условия да работя като докторант по дисертацията, и за тяхното организационно и консултантско съдействие за завършването и представянето за защита на дисертационния ми труд.

На научния ми ръководител проф. д-р инж. Иван Иванов за ценните му съвети и за съдействието по време на целия период на работата ми като задочен докторант. Благодаря за неговата всеотдайност, търпение и разбиране за преодоляване на предизвикателствата при подготовката и оформянето на дисертационния труд и първите ми научни доклади.

На преподаватели от Факултет „Пожарна безопасност и защита на населението“ на Академия на МВР - гр. София за дадените консултации и съвети във връзка с дисертацията.

На моите колеги и приятели от 7-ма Районна служба “Пожарна безопасност и защита на населението” - гр. София, които ме подкрепяха за да съчетавам служебната и дисертационната ми работа.

На ръководството на Главна Дирекция „Пожарна безопасност и защита на населението“- гр. София, за съдействието и предоставената справка за възникнали пожари и взривове в газифицирани сгради и обекти, или с газови уреди и уредби след 2000 г. в Република България.

На моето семейство и на родители ми, които винаги са ме подкрепяли по всевъзможен начин в развитието ми в личен и професионален план.