

ИЗБОР НА МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА ПОЖАРИ В ЛЕЧЕБНИ ЗАВЕДЕНИЯ

Гергана Атанасова¹, Стефан Терзиев², Галинка Павлова³

HOW TO CHOOSE THE MATHEMATICAL MODEL TO PREDICT FIRES IN HEALTHCARE INSTITUTIONS

Gergana Atanasova¹, Stefan Terziev², Galinka Pavlova³

Резюме: В свят на технологичен прогрес и открития, мерките за противопожарна охрана и превенция на пожари в сгради през последните десетилетия достигат високо ниво на сигурност. Пожарите в лечебните заведения, също не са изключение, при които освен материални щети има и човешки жертви. Целта на разработката е да се представят различни модели за изчисление на факторите за възникване на пожар и отчитайки еднаквия тип на сградния фонд и спецификите на медицинската дейност в лечебните заведения, да се избере най-подходящия, с цел превенция и предприемане на мерки за ограничаването му.

Най-успешни и широко прилагани са моделите базирани на CFD (Computational Fluid Dynamics), който е най-подходящ за моделиране на пожари в лечебните заведения.

Ключови думи: математически модел, пожар, лечебни заведения

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В свят на технологичен прогрес и открития, мерките за противопожарна охрана и превенция на пожари в сгради, през последните десетилетия се развиват и достигат високо ниво на сигурност, чрез предлагане и използване на качествени продукти и цялостни, иновативни инженерингови решения. В сградите се изграждат различни пожароизвестителни, пожарогасителни, димозащитни системи и се използват специфични трудно запалими и горими материали за предпазване на самата конструкция. Въпреки множеството мерки за ограничаване възможността за възникване на пожари в сгради, същите се случват и оставят огромни щети след себе си.

Пожарите в лечебните заведения, също не са изключение. Във времена на тежка COVID криза, тези здравни структури са изправени пред предизвикателство, свързано с осигуряване на грижа за живота и здравето на голям брой пациенти, въпреки недостига на материален и човешки ресурс. Пандемията по безспорен начин показва значимостта на материално-техническата и кадрова осигуреност, както и необходимостта от оптимално регионално разпределение на здравните ресурси в страната. В този период на нараснали здравни потребности и предизвикателства с овладяване на пандемията, през последните

¹ Гергана Атанасова, докторант, к-ра Строителство на сгради и съоръжения, Архитектурен факултет, ВСУ „Черноризец Храбър“ – гр.Варна, gergana.atanasova@vfu.bg

² Стефан Терзиев, проф. д-р инж., к-ра Строителство на сгради и съоръжения, Архитектурен факултет, ВСУ „Черноризец Храбър“ – гр.Варна, stefan.terziev@vfu.bg

³ Галинка Павлова, доц. д-р, к-ра Здравна политика и мениджмънт, ФОЗ МУ - София, doc.gpavlova@gmail.com

две и половина години сме свидетели на пожари в болници, не само в България, но и в други страни от ЕС и по света, при които освен материални щети има и човешки жертви.

Най-много са пожарите в индийски болници, пренаселени по време на Ковид-пандемията. Пожар, възникнал на 09.01.2021г. в частна болница в индийския щат Махаращра отнема живота на 10 новородени бебета, 22 жертви взема пожар (23.04.2021г.) в болница в покрайнините на Мумбай. По-късно в същия месец, на 28.04.2021г. в частна болница в град Мумбра, губят живота си 4 пациента след възникнал пожар; 10 са жертвите на пожар в западния индийски град Ахмеднагар, възникнал в Ковид отделение [1]. На 13.07.2021г., врыв от кислородна бутилка предизвиква пожар в Ковид болница в град Насирия, Ирак [1]. В Окръжна болница за спешна помощ в североизточния румънски град Сучава, февруари 2022 г. избухва пожар, поради който се налага евакуация над 300 пациента [20]. На 06.04.2022 г. се разразява пожар в болница „Катимерини“, град Солун и отнема живота на 1 пациент [21]. В Ковид отделение на мобилна болница в град Тетово, Северна Македония, септември 2021г., възниква пожар след експлозия на кислородна инсталация, който отнема живота на 14 човека, а 12 души са получили тежки изгаряния [11].

В последните три години зачестиха пожарите и в българските болници:

- УМБАЛСМ „Н.И.Пирогов“ София, ноември 2019 г.; пожар възникнал поради проблем със системата за подаване на кислород; има 2 жертви и значителни материални щети;
- УМБАЛ „Медика“ Русе, октомври 2021 г., пожар в Ковид отделение, без жертви, но има материални щети;
- УМБАЛ „Св. Георги“ Пловдив, октомври 2021 г., пожар възникнал поради неизправен електрически уред; без жертви, само с материални щети;
- МБАЛ „Хаджи Димитър“ Сливен, ноември 2021 г., пожар възникнал поради небрежност на пациент, запалил цигара в болничната стая; отнема живота на 3-ма и нанася материални щети ;
- МБАЛ Шумен, януари 2022 г. без жертви, но с материални щети;
- МБАЛ Силистра, януари 2022 г., възниква поради късо съединение в електрическата мрежа, потушен е без жертви, но с 1 пострадал;
- Психиатрична болница в Курило „Св. Иван Рилски, февруари 2022 г., няма пострадали;
- УМБАЛ „Света Марина“ Варна в Клиника по уши нос гърло, февруари 2022 г., без жертви, но с материални щети.

Сред посочените български болници има частни и държавни структури [10,12,13,14,15,16,17,18,], някои от тях с национално значение (МБАЛСМ „Пирогов“) или водещи на регионално ниво (УМБАЛ „Света Марина“ - Варна; УМБАЛ „Св. Георги“ - Пловдив). В тези лечебни заведения се извършват високотехнологични специализирани медицински дейности, които определят тяхното значимо място в здравната система и съществена роля за достъпността на гражданите до качествено здравеопазване. Дори без човешки жертви, унищожаването на материално – техническите ресурси (в т.ч. скъпо струваща медицинска апаратура) в болничните структури, причинява не малки загуби на системата и общественото здравеопазване. Принудителното, преустановяване ползване на отделни клинични звена, води до прекъсване на лечебно-диагностичната дейност в тях и представлява предпоставка за загуба на човешки животи на нуждаещи се пациенти, поради невъзможност или забава на стационарното им лечение. Посоченото обяснява актуалността на темата за пожарните инциденти в лечебните заведения.

Причините за възникналите пожари са различни, обективни и/или субективни. Инцидентите се дължат на човешка грешка в резултат на небрежност, безотговорно

поведение, допускане на техническа неизправност и/или системни дефицити в безопасността на лечебните структури.

2. ПРЕГЛЕД НА МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛИ ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА ФАКТОРИТЕ ЗА ВЪЗНИКВАНЕ НА ПОЖАР

Независимо от обстоятелствата, поради които е настъпило нежеланото събитие и размера на материалните щети нанесени от пожара, най-важното нещо е човешкия живот. За съжаление, въпреки действията на локалните противопожарни системи и реакцията на отговорните служби за овладяване и потушаване на пожарите, понякога огнената стихия оставя след себе си жертви. Прилагането на превантивни мерки за осигуряване на пожарна безопасност е значително по-ефективно, отколкото гасенето на пожар. За това, прогнозирането и изчисляването на опасните фактори, благоприятстващи възникването му е от изключителна важност.

Целта на разработката е да се представят различни модели за изчисление на факторите за възникване на пожар и отчитайки еднакъв тип на сградния фонд и спецификите на медицинската дейност в лечебните заведения, да се избере най-подходящия, с цел превенция и предприемане на мерки за ограничаването му.

Лечебните заведения в страната най-общо се разделят на такива за предоставяне на извънболнична медицинска помощ, обслужващи пациентите амбулаторно и болнични структури за хоспитализация, за активно или продължително лечение [2]. Предвид факта, че в стационарите пролежават голям брой пациенти в тежко и/или животозастрашаващо здравословно състояние, трудно подвижни или неподвижни, болниците са изложени на по-висока степен на риск от човешки жертви в условия на пожар. Към края на 2021 година, в страната функционират 364 лечебни заведения за болнична помощ. В последните петнадесет години, едва около 10% от тях са в новопостроени сгради, проектирани с конкретното предназначение [4]. Преобладаващи са структурите, функциониращи в корпуси построени преди повече от 40-50 години, като има и такива които отбелязват над 140 годишно съществуване. Пример за това е УМБАЛ „Александровска“ ЕАД. Повечето от сградите са масивни, с различна много етажност, най-често с монолитна или едропанелна конструкция. Съществуват и такива, изградени на павилионен принцип (УМБАЛ „Александровска“, МБАЛ „Св. Пантелеймон – Ямбол“ и др), което затруднява контрола върху изправността за функциониране на изградените пожароизвестителна и пожарогасителна системи. Противопожарните изисквания в тези болници, построени преди много години, са били съобразени със законодателството към момента на изграждане. Към днешна дата съществуват множество нормативни промени, повишаващи изискванията към пожарната безопасност още на ниво проектиране и строителство.

В болничната мрежа на страната има разкрити над 50 000 легла за хоспитализация [4]. Във всички лечебните заведения работят огромен брой хора, около 200 000, които заедно с пролежаващите или амбулаторно лекувани пациенти, представляват сгради със значителна концентрация на хора.

Според собствено проучване (в процес на обработка) за противопожарната осигуреност в лечебните заведения на град Варна, през изминалите около 20 години на функциониране, в някои от структурите са извършвани не малко нерегламентирани ремонтни дейности и/или конструктивни промени, създаващи предпоставки за възникване на пожар и затруднена евакуация на персонала и пациентите. Примерите в това отношение са свързани със затваряне на евакуационни изходи от сградата; преграждане на коридори за създаване на нови помещения; използване на строителни материали при ремонтни дейности с неизвестни противопожарни характеристики; наличие на врати, не отговарящи на нормативните изисквания за отваряемост и степен на огнеустойчивост; небезопасни кислородни инсталации; неработещи или липсващи системи за

пожароизвестяване и/или пожарогасене; недостатъчни на брой и/или липсващи пожарогасители, светещи информационни табели, насочващи към изхода и други. Посоченото, най-често се отнася за общинските лечебни заведения, изпитващи финансови затруднения. Положителен е факта, че повечето големи и университетски болници, разполагат със служител, с необходимата квалификация, който ежедневно съблюдава спазването на изискванията за противопожарна охрана. Посочените дефекти в противопожарната осигуреност на някои лечебните заведения, е основателен мотив за осъществяване на засилен системен контрол по места от контролните органи, както и превантивно моделиране на пожарите в лечебните заведения.

Пожарът представлява неконтролирано горене, възникнало в резултат на неумишлени или умишлени действия. Протичащ в сграда, той е сложен термогазодинамичен процес, който се характеризира със значителна динамиката на параметрите триизмерност и нестационарност и на газовата среда в помещенията. Времето на продължителността му зависи от условията на само прекратяване или гасене. В същото време, огънят е сложен физико химичен процес, създаващ явления на масов топлообмен, който се развива във времето и пространството. Развитие на пожара в сградите може да се раздели условно на четири етапа:

1. Начален – този етап започва от появата на неконтролиран източник на горене до пълното покритие на помещението с пламък. В същото време средната температура в помещението няма високи стойности, но във и около зоната на горене температурата е такава, че скоростта на разсейване на топлината е по-висока от тази на извеждането ѝ от горивната зона, което причинява самото ускоряване на горивния процес;
2. Развиващ се – обхваща периода от пълното покритие на повърхностите от пламък до постигането на постоянна скорост на прегаряне на материалите от огненото натоварване;
3. Развит етап - изгарят всички горими вещества и материали в помещението. Огънят достига възможно най-висока интензивност, като всички параметри, характеризиращи развитието на огъня, имат максимални и почти постоянни стойности;
4. Избледняващ етап - интензивността на процеса на горене в помещението намалява, поради консумацията на масата на горими материали в него или въздействието на пожарогасители.

В началния етап на развитие на огъня най-опасните фактори за хората са: пламъка, високата температура, интензивността на термично лъчение, продуктите с токсично горене и дима. Те намаляват съдържанието на кислород във въздуха, което затруднява дишането и уврежда човешкия организъм.

Изследвания доказват, че максималната температура на която човек може да се изложи за кратко време в суха среда е 149°C. При излагане на температура от 55° C за 20 секунди във влажна атмосфера се получават изгаряния от втора степен, а при температура от 70° C е достатъчна 1 секунда да се получат същите изгаряния.

Лъчисти топлинни потоци с плътност от 3500 w/m² причиняват почти моментни изгаряния на дихателните пътища и разкрита кожа.

Токсичните вещества във въздуха породени от пожари имат фатални поражения за човешкия организъм.

- въглероден оксид (CO) с концентрация 1,0% води до фатален край за 2-3 минути;
- въглероден диоксид (CO₂) с концентрация 5%, настъпва фатален край за 5 минути;
- водороден цианид (HCN) с концентрация 0,005%, фатален край почти мигновено;
- водороден хлорид (HCL) с концентрация 0,01-0,015%, спира дишането.

С намаляване на концентрацията на кислород във въздуха от 23% на 16%, двигателните функции на тялото се влошават. Мускулната координация се нарушава до такава степен, че движението на човек става невъзможно. Намаляването на концентрацията на кислород до 9% води до смърт след 5 минути.

Комбинираното действие на някои фактори засилва ефекта им върху човешкото тяло (синергичен ефект). Токсичността на въглеродния оксид се увеличава при наличието на дим, намаляване на концентрацията на кислород и повишаване на температурата. Синергичен ефект се открива и със съвместното действие на азотния диоксид и намаляване на концентрацията на кислород при повишени температури, както и с комбинирания ефект на водородния цианид и въглероден оксид.

Димът има особен ефект върху хората и представлява смес от неизгоряли въглеродни частици с размери на частиците от 0,05 до 5,0 μm .

В случай на пожар в сграда, преносът на топлинна маса е ограничен в ограждащата го конструкция. Топлина и дим се натрупват в засегнатото помещение, при което се образуват две зони – зона на топлинно влияние и зона на промяна на дима. Зоната на топлинно влияние се характеризира с критична температура, при която се появяват физически промени в структурните материали, а в димната зона е намалено съдържанието на кислород и е повишено наличието на токсични вещества.

С развитието на огъня настъпва време, когато цялото помещение ще бъде покрито със зони на топлинно влияние и дим. Това време се нарича критичното време на развитието на пожара и обхваща времето от възникването на изгаряне до постигането на критична температура за човешкото тяло или намаляване на концентрацията на кислород под максимално допустимите стойности. Критичното време на развитие на огъня зависи от редица фактори, каквито са обема на помещението, площта на огъня, топлината на горене и масовата скорост на прегаряне. Повишаването на температурата в помещението, в което възниква пожар, определя критичното време на развитието му. Критичната температурна стойност е 70°C и престоят на хора в среда с такава температура се счита за невъзможен.

Пожарите се характеризират с:

- вероятност от възникване;
- продължителност;
- площ;
- средна температура на обема;
- противопожарно натоварване;
- температура на топлоизточващите повърхности;
- икономически щети;

Всяка от тези характеристики може да бъде изчислена по различни методи, което дава възможност да се предвиди развитието на предполагаемия пожар и да се предвидят необходимите мерки за свеждане до минимум на щетите.

Съвременните научни методи за прогнозиране на факторите на пожар се основават на математическо моделиране, т.е. на математически модели на огън.

В научната литература съществуват различни противопожарни модели за изчисление. Руските учени са едни от най-авторитетните експерти в разработването на научни методи за прогнозиране на факторите на пожарна опасност, основаващи се на математическо моделиране [3]. Математическият модел на пожара описва в най-обща форма настъпващата промяна в параметрите на околната среда в помещението във течение на времето, както и промяната в параметрите на състоянието на ограждащата го конструкция и технологично оборудване. Методите за прогнозиране на пожарна опасност се отличават в зависимост от вида на математическия модел на пожара [5,7]. Математическите модели за пожар условно се разделят на три вида:

□ Интегрален модел – чрез него може да се направи прогноза за средните стойности на параметрите на околната среда в помещението, за всеки момент от развитието на пожара. Интегралният математически модел на пожар описва в най-обща форма процеса на промяна на състоянието на газовата среда във времето. Този метод се използва за сгради и

съоръжения, съдържащи развита система от малки пространства с проста геометрична конфигурация, както и при моделиране на симулация за случаи, при които отчитането на случайния характер на пожара е по-важен от точното и подробно прогнозиране на неговите характеристики;

□ Зонален модел – този модел предоставя информация за размера на характерните пространствени зони, които се образуват по време на пожар в помещението, и средните параметри на състоянието на околната среда в тях. Този модел най-често се използва за изучаване на динамиката на опасностите в началния етап на пожарите и е подходящ за прилагане:

- при помещения и системи, с проста геометрична форма, чиито линейни размери са идентични;
- за помещения с голям обем, когато размерът на пожарът е значително по-малък от размера на помещението;
- за работни зони, разположени на различни нива в рамките на една и съща стая (кина, театри, зали и др.);

□ Полеви модел (Диференциал на полето) – този модел позволява да се изчислят стойностите на всички параметри, във всички точки от пространството в помещението, за всеки момент на развитие на пожара. Подходящ е за прилагане при помещения:

- със сложна геометрична форма, както и такива с голям брой вътрешни препятствия (атриуми със система от галерии и/или съседни коридори; многофункционални центрове, със сложна система от вертикални и хоризонтални връзки и др.);
- в които един от геометричните размери е много по-голям (по-малък) от останалите (тунели, затворени паркинги с голяма площ и др.);
- уникални конструкции;

Математическите модели за развитието на пожар в помещението описват в най-обща форма промените в параметрите на състоянието на околната среда, ограждащи конструкции и елементи на оборудването във времето на развитие на пожар. Уравненията, математическите модели на пожар в сградите и съоръженията се основават на основните закони на физиката: законите за опазване на масата, енергията и количеството движение.

Тези уравнения отразяват взаимосвързаните и взаимозависими процеси, присъщи на пожара - генериране на топлина в резултат на горене, димна емисия, промени в газовата среда, изпускането и разпределението на токсични горивни продукти, топлообмен и отопление на ограждащи конструкции и др.

Както разгледахме по-горе съществуват три основни принципа на математическо моделиране на пожари, в зависимост от описанието на параметрите на състоянието на газовата среда в помещенията.

Методът на интегрално моделиране се основава на моделиране на пожар в помещение на ниво средни характеристики (параметри на средния обем, които характеризират условията в обема на пространството: температура, налягане, състав на газовата среда и т.н. за всяко време на развитие на пожара). Схемата на интегрален модел е показана на фигура 1. Това е математически най-простия модел на пожар. Той е представен, като система от обикновени диференциални уравнения. Желаните функции са параметрите със среден обем на газовата среда в помещението, а независимата променлива е времето. Интегралният математически модел на огън описва в най-обща форма процеса на промяна на състоянието на газовата среда в помещението.

От гледна точка на термодинамиката, газообразната среда която запълва помещение което има отвори (прозорци, врати и др.), като обект на изследване, е отворена термодинамична система. Ограждащите конструкции (етаж, таван, стени) и външният въздух (атмосфера) са външната среда по отношение на тази термодинамична система, които си взаимодействат чрез пренос на топлина и маса. В процеса на развитие на пожара

от помещението се изтласкват нагриващи газове през някои отвори, а студеният въздух влиза през други. Количеството материя, т.е. масата на газа във въпросната термодинамична система, варира във времето. Термогаз-динамичната система, от своя страна, върши работата, като избутва затопилите се газове във външната атмосфера. Тази термодинамична система взаимодейства и с ограждащата конструкция чрез топлообмен. Освен това, системата получава вещество под формата на продукти на газообразно горене от повърхността на горящия материал (т.е. от зоната на пламъка).

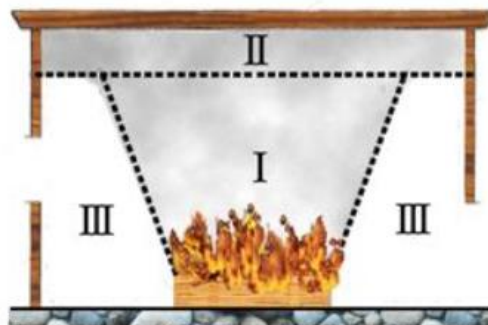
Състоянието на въпросната термодинамична система се променя в резултат на взаимодействие с околната среда. В интегралния метод за описание на състоянието на термодинамична система, която е газовата среда в помещението, се използват "интегрални" параметри - като масата на цялата газова среда и вътрешната му термична енергия. Съотношението на тези два интегрални параметъра дава възможност за оценка на средната степен на нагриване на газовата среда.

Недостатъкът на този модел е високата степен на приблизителното отчитане на пространствените зависимости на опасностите от пожар.



Фигура 1. Схема на интегрален модел на пожар в помещение

Зонният модел за изчисляване на температурата при пожар предполага, че по време на горенето на материал в помещението се образуват няколко зони показани на фигура 2, в които протичат различни физически процеси, свързани с топло- и масопреноса.



Фигура 2.Схема на зонов модел на пожар в помещение

Първата зона е тази на горене, в която материалите изгарят директно, енергията се освобождава в лъчиста форма и се образуват нагрети продукти на горенето. В тази зона температурата остава постоянна през цялото развитие на пожара и е равна на

температурата на горене. При изчисленията, зоната на горене се заменя с точков източник на топлина, който се намира под нивото на повърхността.

Втората зона е колона за димни газове, която има формата на обърнат конус, който започва от мястото на "точков" пожар. В колоната на димните газове нагретите продукти на горенето бързо се издигат под действието на архимедовите сили в горните слоеве на помещението. В същото време, в долната част на колоната на димните газове, поради високия дебит, студеният въздух активно се засмуква в нагрятия поток, което води до намаляване както на концентрацията на продуктите от горенето, така и на тяхната температура в колоната. В средната и горната част на колоната на димните газове практически няма засмукване на студен въздух.

Третата зона е слой близо до тавана. В помещения с ограничена височина (по-малко от 6 метра), колоната на димните газове се разбива на повърхността на пода и продуктите от горенето се разпространяват равномерно по тавана в хоризонтална посока. В слоевете близо до тавана, нагретите продукти на горенето практически не се смесват със студения въздух на помещението, но дебелината на този слой постоянно се увеличава по време на процеса на горене.

Четвъртата зона е зоната на студения въздух. В нея, в началния етап, огънят практически не се усеща. Тук е основната част от окислителя, който дифундира в зоната на горене и подпомага развитието на огъня.

Зонният модел дава добри резултати при изчисляване на температурата в зоната около тавана и времето за повишаване на температурата, в тази част на помещението, до стойностите, при които трябва да работят системите за пожарна автоматика.

Използването на модела на зоната помага да се определи температурата над източника на огън на всяка височина, да се изчисли скоростта на покачване на продуктите от горенето и скоростта на повишаване на температурата. Този модел се използва за изчисляване на времето за реакция на датчиците за пожароизвестяване.

3. ИЗБОР НА МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА ПОЖАРИ В ЛЕЧЕБНИТЕ ЗАВЕДЕНИЯ

Най-пълен и комплексно отчитащ особеностите на параметрите при развитието на пожар е диференциалният модел (полеви модел), наричан още CFD (Computational Fluid Dynamics), в който енергийният и материалният баланс на огъня е представен под формата на диференциални уравнения [9]. Диференциалният модел дава възможност да се определи температурата на пожара в произволна точка в помещението на всеки етап от развитието му. Точността на получените резултати зависи от направените конкретни предложения в изчисленията. При достатъчно пълно покритие на условията на топло- и масопренос може да се получи точен резултат.

Използвайки в основата си различните методи и математически изследвания, съвременните софтуерните продукти създават модели на сгради, и се картографира графично и числено разпространението на пламъци, топлина и дим. Използвайки тази информация може да се създаде най-ефективната стратегия срещу възникване на пожар в сградите, в съответствие със законоустановените изисквания и други цели за противопожарна безопасност.

Моделите на полета, или моделите на изчислителна динамика на флуидите (CFD) предоставят метод за моделиране на потока на течности, с помощта на числени решения на уравненията на Навие-Стокс. В повечето CFD софтуерни пакети изчисленията могат да се извършват за определен период от време, за да се осигури преходно решение. CFD модел обикновено се включва от стотици хиляди (или милиони) контролни обеми. Това постига по-фино ниво на разделителна способност от моделите, които усвояват предположението за зона, но с цената на изискващи по-големи изчислителни ресурси и удължени симулационни времена от дни, седмици или дори месеци. Ползите от моделите

на CFD включва способността за моделиране на много по-подробни геометрии, отколкото може да се постигне с помощта на алгебрични или зоновни модели [9].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Математичното моделиране позволява прогнозиране на динамиката на пожара в помещенията на сградите с различно назначение, а следователно позволява да се изведе изследването на пожарната опасност на обекти на качествено нов етап на развитие, осигуряващ преминаване от сравнителните методи към прогнозните, отчитащи условията на експлоатация на обекта.

От направения литературен обзор е видно, че моделите базирани на CFD (Computational Fluid Dynamics) се използват широко и успешно за оценка на развитието на пожари. Отчитайки характеристиките и спецификите на лечебните заведения и извършваната в тях дейност, най-подходящ за тях се явява посочения модел за моделиране на пожар.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Георгиев Я., Н. Радева, Хр. Романова, Риск от пожари в лечебни заведения в условия на Ковид-191, доклад в 5-та научна конференция на БНДОЗ, 12-13.05.22г. Бургас
- [2] Закон за лечебните заведения, ДВ бр.62/ 05.07.1999 г., последно изм. и доп. ДВ. бр.32/26 Април 2022 г.
- [3] Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении, учебное пособие / Ю.А. Кошмаров. Академия ГПС МВД России. Москва, 2000. 118 с.
- [4] Национален статистически институт –www.nsi.bg
- [5] Рыжов, А. М. (1991). Математическое моделирование пожаров в помещениях с учетом горения в условиях естественной конвекции. Физика горения и взрыва, 27(3), 40.
- [6] Ходжаоглу И., А.Георгиева, Безопасни условия на труд в медицинските заведения, VII Межд. научна конференция “Архитектура, строителство – съвременност”, 28 – 30 Май 2015 г., Варна, с.580-583
- [7] Alexandrenko, M.V. & Akulova, M.V. (2015). МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРА [MATHEMATICAL MODELLING OF THE FIRE]. Meždunarodnyj naučno-issledovatel'skij žurnal, №4 (35) Part 1, 28-29.
- [8] Tomaskova, M.; Pokorny, J.; Kucera, P.; Balazikova, M.; Marasova, D., Jr. Fire Models as a Tool for Evaluation of Energy Balance in Burning Space Relating to Building Structures. Appl. Sci. 2022, 12, 2505.
- [9] Vigne Gabriele, Advanced Simulations For Building Design – Best Practice and Future Developments - Jimmy Jönsson - Fire and Evacuation Modelling Technical Conference 2016 - Malaga, November 16-18, 2016 -(https://www.femtc.com/events/2016/d1-02-vigne)
- [10] <https://nova.bg/news/view/2019/11/27/269847>
- [11] https://novini247.com/novini/pojar-izbuhna-v-modulna-bolnitsa-v-tetovo-v-koyato-sa_3516609.html?msclkid=d4f2714ed05d11eca2d86d0872cf4dab
- [12] <https://www.mnews.bg/regionalni/ruse/patsient-predizvika-pozhar-v-umbal-medika-postradali-nyama?msclkid=128b8b12d05e11ec8345fda8a2620069>
- [13] <https://new.bnr.bg/shumen/post/101027159/pojar-v-umbal-sveti-georgi-v-plovdiv-namaraneni-i-obgazeni?msclkid=40148254d05e11ec8a864c3a1f6309ae>
- [14] <https://sliven-news.com/podrobnosti-za-pozhara-v-mbal-hadzhi-dimitar-koyto-otne-zhivota-na-trima-dushi/?msclkid=56f5c91bd05e11ecbaa663f4638b0645>
- [15] <https://nova.bg/news/view/2021/10/31/344775/>
- [16] <https://www.24chasa.bg/region/article/10750432?msclkid=7639a0a6d05e11ec9ff48a1a1f43dd89>

- [17] <https://enovinar.com/pozhar-v-psihiatriyata-v-kurilo-sthetite-sa-samo-materialni/?msclkid=98ce8269d05e11ec99739543412f28bf>
- [19] <https://bntnews.bg/news/pozhar-gorya-v-bolnica-sveta-marina-vav-varna-1185316news.html?msclkid=ad99b421d05e11eca03281fde7162c96>
- [20] <https://nova.bg/news/view/2022/02/03/355524/>
- [21] <https://novavarna.net/2022/04/06/>