

БАЙЕСОВ ПОДХОД ЗА ОЦЕНКА НА ПАСИВНИТЕ МЕРКИ ЗА ЗАЩИТА ОТ ПОЖАР В ПОМЕЩЕНИЕ

Д-р Али Чакър – Варненски Свободен Университет
Д-р Росен Атанасов – фирма Stargate Maritime LTD
Александър Близнаков докторант ВВМУ

***Резюме:** Предложени са методика и математически модел за вероятностна оценка на ефективността на пасивните мерки от пожар в стационарни и корабни условия. Моделът се оценява по известния в теорията на вероятностите подход на Байес, позволяващ минимизация на средния риск. Проведени са числени експерименти с помощта на статически данни получени в реални условия.*

***Ключови думи:** пасивни мерки, математически модел, байесов подход, риск, теория на вероятностите;*

BAYES APPROACH TO EVALUATION OF PASSIVE MEASURES FOR INDOOR FIRE PROTECTION

Dr. Ali Chakar - Varna Free University
Dr. Rosen Atanasov - Stargate Maritime LTD
Alexander Bliznakov PhD student at NA

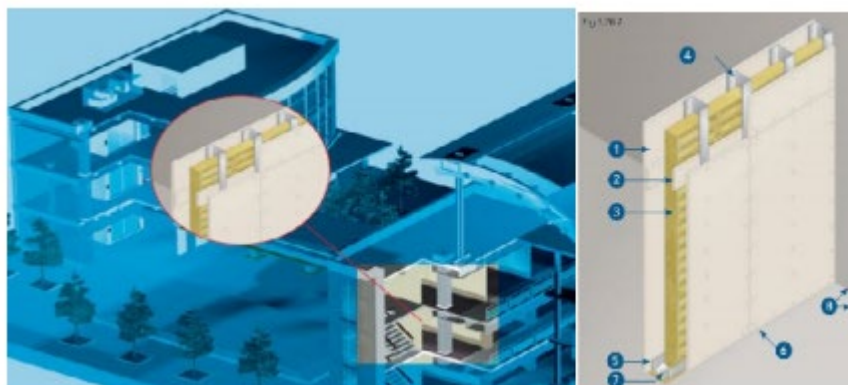
***Abstract:** A methodology and a mathematical model for probabilistic evaluation of the effectiveness of passive fire measures in stationary and ship conditions are proposed.*

The model is evaluated according to the Bayesian approach known in probability theory, allowing minimization of the average risk. Numerical experiments were performed using static data obtained in real conditions.

***Key words:** passive measures, mathematical model, Bayesian approach, risk, probability theory;*

Разглежда се въпросът за ограничаване на разпространението на пожари, възникнали в производствени помещения включващи технологични процеси и машини с разнообразни работни среди (мазут, дизелово гориво, минерални масла, технологична пара) и съхраняващи готова продукция с различни възможности за запалване и горене (мебели, пластмасови изделия, бяла техника и др.) Става дума за оценка на ефективността на мерките за защита от пожар, след като той е достигнал до своя напълно развит стадий или точка, позната като „експлозивно (пълно) горене”. Целта на тези мерки, известни като активни или пасивни е да се задържи възможно най-дълго настъпването на този стадий на сградата, за да се позволи на хората да се евакуират, а на спасителните екипи да работят безопасно. Активната противопожарна защита включва алармени и пожаро-гасителни системи, ограничаващи и ликвидиращи пожарите. Пасивните системи за противопожарна защита имат за цел да ограничат или забавят разпространението на пожари в промишлените сгради чрез използване на огнеупорни строителни елементи. Основна пасивна мярка за ограничаване на разпространението на пожар в сграда е изграждането на пожарозащитни прегради, разделящи сградата на сектори, секции, защитени и безопасни зони, отделяне на пътищата за евакуация и др. Без да навлизаме в подробности отбелязваме, че за отделяне на пожарните сектори един от друг се използват пожарозащитни конструкции, известни като „брандмауери”, а пожарните секции се отделят една от друга чрез пожарозащитни стени, [5].

За предотвратяване на разпространението на пожара и на продуктите на горене от помещението, или от сектора, където той е възникнал се използват пожарозащитни прегради. Този тип бариери, чийто общ вид и структура са представени на фиг.1 се отличават в конструктивните си изпълнения по вида на негоримите топло изолационни материали за изработване на противопожарните покрития и на огнезащитни бои, получени чрез добавяне на различни противопожарни компоненти, [5].



Фиг.1

За оценка на ефективността на действия на различните пасивни противопожарни мерки и за управление на риска от възникване и разпространение на пожари в жилищни и индустриални помещения е използван вероятностен подход, основаващ се на известната в теорията формула на Байес [1,4]. Разглеждаме ситуация, при която в едно помещение или пожарен сектор е възникнал пожар и търсим вероятността за разпространението му в съседни помещения (секции) през противопожарните прегради в рамките на определен времеви период. Това е задача, свеждаща се до определяне на вероятността за поява на някакво събитие A (пожар в съседно помещение), което може да се реализира заедно с едно от събитията H_1, H_2, \dots, H_n , образувачи пълна група от несъвместими събития. Събитията H_i се наричат хипотези, а вероятността на събитието A се определя от формулата за пълната вероятност:

$$P(A) = P(A.H_1) + P(A.H_2) + \dots + P(A.H_n) = \sum_{i=1}^n P(H_i).P(A/H_i) \quad (1)$$

Тук $P(H_i)$ е вероятност на хипотезата за преодоляване на преградата до следващо помещение, а $P(A/H_i)$ е вероятността за възникване на пожар при сбъждане на хипотезата H_i . При вероятностната оценка на ефективността

на всяка от противопожарните бариери, представляващи пасивни пожарозащитни мерки са възможни два случая (хипотези):

$H_1 = H_{\Delta}$ - пожарозащитната преграда между зоната на интензивно горене и съседното помещение не е преодоляна към избрания момент. Това състояние е условно прието като добро, а функцията на разпределение в този момент е $P(t) = P(t < t_0) = F(t) < 1$

$H_2 = H_0$ – пожарозащитна преграда между помещенията е преодоляна към момента t . Това състояние се приема като потенциално опасно, а функцията на разпределение е $P(t > t_0) = F(t) = 1$; тук $F(t)$ – функция на разпределение на събитието.

Обръщаме внимание, че в случая вероятностите на хипотезите за добро или опасно състояние са вероятностни оценки на степента на преодоляване на преградата, а не на възникването на пожар в съседното помещение. Що се отнася до вероятността за разпространение на пожара при вече реализирана хипотеза за преодоляване на преградата, тук обръщаме внимание на следното:

На първо място отбелязваме, че моментът на възникване на пожара е случайна величина, която зависи от редица фактори, най-съществени от които са типовете на обзавеждането в съседните помещения: кухненско, библиотечно или мебелно обзавеждане, складове за готова продукция, машини и съоръжения и т.н. Това предполага познаването на функциите или плътностите на разпределение на вероятностите за всеки конкретен случай.

На второ място имаме предвид, че процентите на възникване и развитие на пожара се контролират по косвени признаци, които едновременно формулират събитието, означено като A : наличие или отсъствие на пожарна ситуация в помещението. Добрата практика показва, че най-често пожароопасната ситуация се контролира по два косвени признака:

S_1 – температура в помещенията;

S_2 – показание на сензорите за наличие на дим.

Това засилва случайния характер на процеса и поставя задачата за приемането на най-правилните управленски решения, т.е за преизчисляване

на вероятностите на всяка от хипотезите, след като вече е било наблюдавано събитието A . Тази задача може да бъде решена чрез използване на теоремата за проверка на хипотези (формула на Байес), получена като следствие от теоремата за умножение и формулата за пълната вероятност по следния начин [3].

$$P(AH_i) = P(A) \cdot P\left(\frac{H_i}{A}\right) = P(H_i) \cdot P(A/H_i) \quad (2)$$

Отхвърляйки лявата част на това уравнение получаваме:

$$P\left(\frac{H_i}{A}\right) = \frac{P(H_i) \cdot P(A/H_i)}{P(A)} = \frac{P(H_i) \cdot P(A/H_i)}{\sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot P(A/H_i)} \quad (3)$$

Тук $P(H_i)$; $i = 1 - n$; са вероятностите на хипотезите до опита, а $P(A/H_i)$ е вероятността на i -тата хипотеза след опита.

По тази формула, известна като формулата на Байес могат да бъдат получени условните вероятности на всяка от хипотезите за възникване на пожар, след което най-вероятната от тях се приема като основа за бъдещи действия. За да можем да вземем управляващи решения за получаването на пожара или за евакуацията на персонала на базата на формулата на Байес е необходимо познаването на априорните вероятности на хипотезите за ефективна ($P_1 = P_{H_1}$) или неефективна ($P_2 = P_{H_2}$) защита на противопожарната преграда, а така също и на вероятностите за правилна (p_1, p_2) или погрешна (q_1, q_2) оценка по всяка от косвените (диагностични) признаци (s_1, s_2). При оценка на вероятността за наличие на пожар след преградата са възможни четири случая:

1. Първи вариант. Получава се съобщение (събитието A): диагностичните заключения по два признака са, че в помещението след преградата не е възникнал пожар. Вероятността за това съобщение (ако то в действителност се е сбъднало) е известна в теорията на операциите като чувствителност и е равна на: $P\left(\frac{A}{H_1}\right) = p_1 \cdot p_2$, а обратната вероятност е $P\left(\frac{A}{H_2}\right) = q_1 \cdot q_2$;

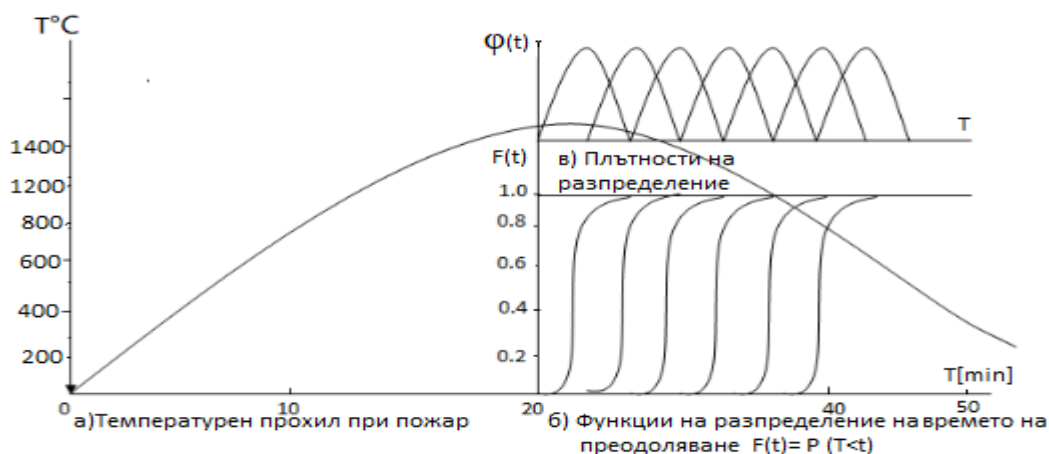
2. Втори вариант. Получава се съобщение: диагностичните заключения по двата признака са, че в съседното помещение е възникнал

пожар, като вероятността му е $P\left(\frac{A}{H_2}\right) = p_1 \cdot p_2$ (специфичност); а вероятността на противоположната хипотеза при това съобщение е $P\left(\frac{A}{H_1}\right) = q_1 \cdot q_2$

3. Трети вариант: Получено е съобщение, според което температурния сензор показва добро състояние. Това означава, че при вярна хипотеза H_1 първият признак дава вярно, а вторият – невярно заключение $P\left(\frac{A}{H_1}\right) = p_1 \cdot q_2$ $P\left(\frac{A}{H_2}\right) = q_1 \cdot p_2$.

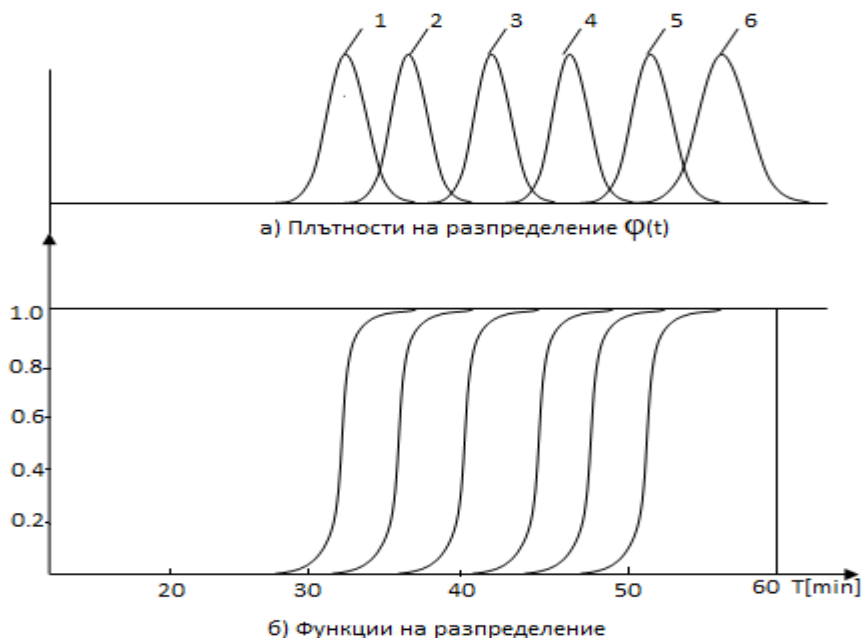
4. Четвърти вариант: Получава се съобщение, според което първият сензор носи информация за недобро състояние (пожар), а вторият признак показва отсъствие на пожар $P\left(\frac{A}{H_1}\right) = q_1 \cdot p_2$. Това означава, че при вярна хипотеза H_1 първият признак греша, а вторият дава верен резултат $P\left(\frac{A}{H_1}\right) = q_1 \cdot p_2$; $P\left(\frac{A}{H_2}\right) = p_1 \cdot q_2$

След заместване на условните вероятности $P\left(\frac{A}{H_i}\right)$ и на априорните вероятности $P(H_i)$ в уравнение (3) получаваме условните вероятности на всеки от четирите варианта $P(H_i/A)$ и планираме действията си в съответствие с най-голямата вероятност. Обръщаме внимание на това, че тези вероятности са предварително пресметнати и табулирани, което означава, че изборът на правилното управляващо действие е въпрос на секунди.



Фиг.2

За определяне вероятностите на хипотезите за преодоляване на пасивните противопожарни прегради са проведени експерименти в условията на специализиран полигон. Експериментите, се състоят в определяне на процесите на изменение на температурата (и евентуално създаване на условия за възникване на пожар) в помещения, отделени от огнището на пожара с различни прегради, предназначени за прилагането им като противопожарна защита между служебни и жилищни помещения в корабни условия (фиг. 1 и 2). Изследванията са проведени от научни колективи, ръководени от проф. А.Недев (ТУ-Варна) и проф. В. Вилд (Росток). Резултатите от тези изследвания са публикувани в [2],[6],[7]. Част от тези изследвания са били използвани в [4] и [1] с помощта на които са натрупани бази от данни, показващи процесите на изменение на температурите в помещенията след преградите. Обект на изследванията са шест образци на прегради, различаващи се по материалите и дебелините (от 12 до 14,5mm) на противопожарните покрития и вида на използваните бои.



Фиг.3

На фиг.2.а е показан процес на изменение на температурата в помещението, което е огнище на пожара. Пожарът се симулира чрез изкуствено възпламеняване на различни твърди и течни горими материали, като интерес от гледна точка на решаваните задачи представлява температурния диапазон над 800°C. За всяко от помещенията, обособени от различни прегради (№1-6) са получени плътностите (фиг.2.в) и функциите (фиг.2.б) на разпределение на времената за преодоляване на съответните пасивни противопожарни защиты. Като имаме предвид, че $F(t) = P(T < t)$, от последната фигура определяме априорните вероятности на всяка от хипотезите $P_j (j = 1 - 6)$ за преодоляване на съответната бариера $P(H_i)$ в уравнение (3).

Таблица 1

Вероятности на хипотезите за пробив или защита на преградите

Противопожарни прегради	1	2	3	4	5	6
Априорни вероятности на хипотезите за пробив	0,85	,775	,675	,6	,5	,4
Вероятности на хипотезата за задържане на пробив	0,15	,225	,325	,4	,5	,6

За определяне на пълната вероятност за разпространение на пожара в съседните помещения, съгласно уравнение (2) е необходимо познаването на условните вероятности за настъпване на пожар при изпълнение на съответната хипотеза $P(A/H_i) = P(T < t) = F(t)$. Както беше отбелязано

тези вероятности (времена) зависят от архитектурата на помещението и от вида на материалите, намиращи се в него (хартия, дърво, запалителни течности, готова продукция). Експерименталните изследвания например показват, че средното време на забавяне на samozапалването в помещенията е от порядъка на (7-9) мин. , което отговаря на средна условна вероятност $P(A/H_i) = 0.82$. След заместване на тази стойност в уравнение (2) се получават пълните вероятности за разпространение на пожар във всяко от обособените помещения (фиг.3). Като имаме предвид графичните изображения на плътностите и функциите на разпределение $P(H_i)$ от фиг.2 б,в след умножение на двете съставлящи функции, от уравнение (2) получаваме в графичен вид функциите на вероятностите на времената на възникване и разпространение на пожарите във всяко от помещенията (фиг.3). От тази фигура, като имаме предвид, че достигането на всяка от функциите на разпределение $P(A)$ до единица определя момента на възникване на пожар в съответното помещение, определяме вероятностите за разпространение на пожара при избран период от време за реагиране. Тези вероятности за време от 60 мин., което се приема като горна граница за реагиране са представени в табл.2.

Таблица.2

Вероятности за възникване и разпространение на пожар в рамките на 60 мин.

Помещения	1	2	3	4	5	6
Вероятности за разпространение на пожар	0,65	0,6	0,5	0,35	0,25	0,15
Вероятности за защита от пожари	0,35	0,40	0,50	0,65	0,75	0,85

На трето място ще потърсим решение на една задача за определяне на вероятността за настъпване на пожар в помещение по резултатите от измерването на два косвени признака. Както вече беше посочено, добрата практика за откриване на пожар в помещение се основава на анализ на показанията на два сензора, реагиращи на температурата и димността в помещението. От тази практика е известно също така, че достоверността на метода за сигнализация по температурата е $P(S_1) = 0.9$, а на противодимния сензор тази вероятност е $P(S_2) = 0.8$

При тези налични условия и при известни априорни вероятности на хипотезите $P(H_i)$ преизчисляваме апостериорните вероятности на всяка от хипотезите по формулата на Байес (уравнение 3). Резултатите от четирите възможни варианта са представени в обща таблица за всички помещения (Табл.3). За нас интерес представляват първите два варианта от тази таблица, които показват ефективността на всяка от оценяваните прегради $P^j(H_1/A)$, или вероятността за възникване на пожар $P^j(H_2/A)$. От гледна точка на теорията за приемане на решение вероятностите $P^j(H_1/A)$ от първия вариант на таблицата определят специфичността на диагностичните способности, а вероятностите $P^j(H_2/A)$ от вторите варианти показват чувствителността на способа за оценка на състоянието.

Съобщение А варианти $P(H_i/A)$ Помещения след преградите	Вариант 1. $A(S_1^+, S_2^+)$	Вариант 1. $A(S_1^-, S_2^-)$	Вариант 1. $A(S_1^+, S_2^-)$	Вариант 1. $A(S_1^-, S_2^+)$
Преграда I $P(H_1) = 0.35$ $P(H_2) = 0.65$ $P(H_1/A) =$ $P(H_2/A) =$	$P(H_1/A)$ = 0.951 $P(H_2/A)$ = 0.049 Приема се H_1 - добро състояние	$P(H_1/A) = 0.014$ $P(H_2/A) = 0.985$ Приема се H_2 - пожар	$P(H_1/A) = 0,548$ $P(H_2/A) = 0.452$ Отказ от решение слабо към H_1	$P(H_1/A) = 0,193$ $P(H_2/A) = 0.807$ слабо към H_2

Преграда II $P(H_1) = 0.40$ $P(H_2) = 0.60$	$P(H_1/A) = 0.96$ $P(H_2/A) = 0.04$ Приема се H_1 - добро състояние	$P(H_1/A) = 0.018$ $P(H_2/A) = 0.982$ Приема се H_2 - пожар	$P(H_1/A) = 0,6$ $P(H_2/A) = 0.4$ Слабо предпочитание към H_1	$P(H_1/A) = 0,229$ $P(H_2/A) = 0.771$ Слабо предпочитание към H_2
Преграда III $P(H_1) = 0.50$ $P(H_2) = 0.50$	$P(H_1/A) = 0.973$ $P(H_2/A) = 0.027$ Приема се H_1 - добро състояние	$P(H_1/A) = 0.027$ $P(H_2/A) = 0.973$ Приема се H_2 - пожар	$P(H_1/A) = 0,692$ $P(H_2/A) = 0.308$ Слабо предпочитание към H_1	$P(H_1/A) = 0,307$ $P(H_2/A) = 0.693$ Слабо предпочитание към H_2
Преграда IV $P(H_1) = 0.65$ $P(H_2) = 0.35$	$P(H_1/A) = 0.985$ $P(H_2/A) = 0.015$ Приема се H_1 - добро състояние	$P(H_1/A) = 0.049$ $P(H_2/A) = 0.951$ Приема се H_2 - пожар	$P(H_1/A) = 0,806$ $P(H_2/A) = 0.194$ Слабо предпочитание към H_1	$P(H_1/A) = 0,452$ $P(H_2/A) = 0.548$ Слабо предпочитание към H_2
Преграда V $P(H_1) = 0.75$ $P(H_2) = 0.25$	$P(H_1/A) = 0.991$ $P(H_2/A) = 0.009$ Приема се H_1 - добро състояние	$P(H_1/A) = 0.077$ $P(H_2/A) = 0.923$ Приема се H_2 - пожар	$P(H_1/A) = 0,871$ $P(H_2/A) = 0.129$ предпочитание към H_1	$P(H_1/A) = 0,571$ $P(H_2/A) = 0.429$ Слабо към H_1
Преграда VI $P(H_1) = 0.85$ $P(H_2) = 0.15$	$P(H_1/A) = 0.995$ $P(H_2/A) = 0.005$ Приема се H_1 - добро състояние	$P(H_1/A) = 0.136$ $P(H_2/A) = 0.864$ Приема се H_2 - пожар	$P(H_1/A) = 0,927$ $P(H_2/A) = 0.073$ предпочитание към H_1	$P(H_1/A) = 0,715$ $P(H_2/A) = 0.285$ предпочитание към H_1

Таблица 3

S_i^+ - признакът показва добро състояние (отсъствие на пожар)

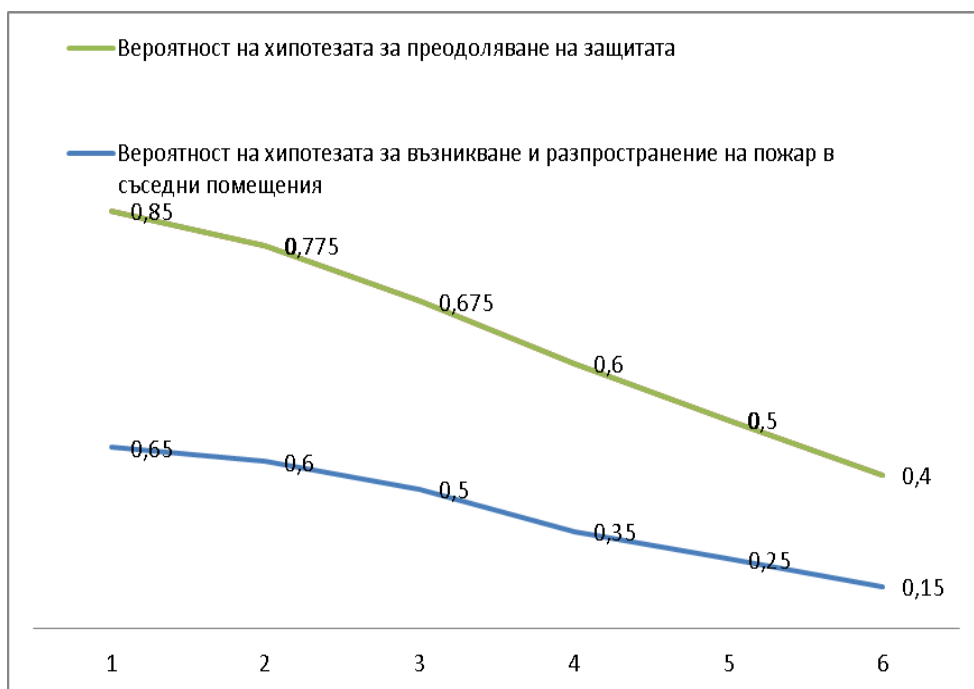
S_i^- - признакът показва недобро състояние (възникване на пожар)

H_1 – хипотеза за добро състояние

H_2 - хипотеза за възникване на пожар

На фиг.4 са представени априорните вероятности на хипотезите за преодоляване на пасивната защита на преградите $P(H_i)$ и на вероятностите за възникване на пожар $P_j(A)$ - $j=1 \div 6$.

От тези резултати се вижда, че правилата за приемане на решения при еднопосочни показания на вторичните признаци ($s_1^+, s_2^+ \rightarrow H_1$; $s_1^-, s_2^- \rightarrow H_2$) са ясни и категорични на базата на съществуващата статистика. При разнопосочни отношения на показанията (s_1^+, s_2^- или s_1^-, s_2^+) по тази статистика се наблюдават решения близки до ситуацията на отказ от разпознаване.



Фиг.4

Заклучение

Математичните модели, основаващи се на вероятностния анализ на хипотезите за преодоляване на преградните пасивни противопожарни прегради и на Байесовския подход за оценка на хипотезите за възникване и разпространение на пожар в различни обособени помещения по косвени признаци са полезни както при проектиране така и в процеса на експлоатация. Що се отнася до получените числови резултати и графични представяния, те имат пряко отношение към конкретен тип обекти: производствени, складови, служебни, жилищни.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Вентцель, Е.С. Теория вероятностей. М.Наука 1969
- 2.Кунев. Г., В.Наумов, Н.Тризлова, А.Недев Използване на специализиран софтуер за инфрачервена диагностика на промишлени обекти, Машиностроителна техника и технологии, Варна, бр.1, 2005, стр.87-89, ISSN 1312-0859.
- 3.Недев, А.,В.Наумов, Г.Кунев, Н.Тризлова, А.Л.Киров Оптимална стратегия за енергиен мениджмънт, , Механика на машините, год.XIV, 2006, кн.1,бр.62, Варна, стр.75-79,серия FH, ISSN 0861-9727.
4. Недев, А, М.Бакалова, Г.Антонов, Б.Андреев, С.Сезгин, Д.Камберов – Разпознаване на образи и оптимално стохастическо управление (приложение на методите за разпознаване на образи в управлението на стопански, биологични и обществени системи),кн.2, ИК Геа Принт,2012, стр.368,ISBN 978-954-9430-91-2
- 5.Чакър, А. Приложение на пасивната противопожарна защита при проектиране на сгради, X МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ по АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛСТВО ArCivE 2021 29 Май 2021 г., Варна, България,

6. Kunev, G. A. Nedev, W. Wild, System modeling: data mining versus general system theory, „Механика на машините“ год. XII, 2004, кн. 3, бр. 52, Варна, с.96-99, ISSN 0861-9727

7. Naumov, V., W. Wild, A. Nedev, J. Schoof, F. Awade, Measuring and electrical systems state assessment techniques using IR thermography, „Механика на машините“ год. XII, 2004, кн. 3, бр. 52, Варна, с.111-114, ISSN 0861-9727