

Слізаров О. В., канд. техн. наук, доцент,
Національний університет цивільного захисту України

ПОРЯДОК ПЛАНУВАННЯ ТА ОБРОБКИ ПЕРВИННИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ В ТЕПЛОДИМОКАМЕРІ

У статті наведено порядок планування та обробки первинних результатів випробувань розвитку пожежі, утворення та поширення диму в приміщенні, що дозволяє без рішення системи диференціальних рівнянь визначити основні характеристики процесу. В основі запропонованої моделі лежить принцип зонування та запропоноване поняття ефективної площі горіння. Робота дозволяє на основі розрахунку основних характеристик розвитку пожежі, утворення та поширення диму в приміщенні, знаючи пожежне навантаження, розробити алгоритм вибору найбільш небезпечних в пожежному відношенні об'єктів.

Ключові слова: газова фаза, продукти горіння, концентрація токсичних речовин, ефективна площа горіння, безпека людей на пожежах, аналіз гасіння пожежі.

Постановка проблеми. При вивченні практично будь-якого питання, пов'язаного з поширенням пожежі, утворенням і поширенням диму в приміщенні, важливу роль відіграють експериментальні дослідження. При цьому зазначимо, що натурні експерименти є досить дорогими. Що ж стосується модельних експериментів, то невідповідність масштабу між модельними та реальними пожежами часто призводить до досить суттєвої різниці в результатах.

Однією з проблем є планування експерименту та обробка первинних даних, тому що дозволяє розрахувати основні характеристики розвитку пожежі, утворення та поширення диму в приміщенні, причому розраховуються саме ті характеристики, які необхідні для підвищення ефективності і безпеки роботи підрозділів рятувальників.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. У доступних джерелах велика увага приділяється розгляду умов та необхідності застосування математичної теорії планування експерименту в наукових та інженерних дослідженнях. Застосовуються методи статистичної оцінки досвідчених даних, необхідних для будь-якого експериментального дослідження, що претендує на достовірність результатів.

У посібнику [3] розглядаються умови та необхідність застосування математичної

теорії планування експерименту в наукових та інженерних дослідженнях.

Розглянуті основні процеси наукових досліджень, методики та методи, теорія планування експерименту, обробка та оформлення результатів [4].

Формулювання цілей статті. Мета роботи – за допомогою планування та обробки первинних результатів іспитів виділити деякі загальні характеристики об'єктів, що беруть участь в процесі горіння на пожежі, що дозволяють об'єднати їх у групи, залежно від особливостей протікання реакції горіння, а також такі закономірності протікання пожежі, які дозволяють знизити витрати коштів і праці при випробуваннях. При плануванні випробувань ми будемо спиратися на апріорні положення про особливості процесу, відповідно порядок ведення експериментів будемо будувати таким чином, щоб:

- підтвердити апріорні припущення;
- отримати достовірну емпіричну модель процесу розвитку пожежі, утворення та поширення диму в приміщенні;
- мінімізувати затрати праці і коштів на проведення випробувань.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо приміщення, що має розміри (довжина, ширина, висота) X , Y , Z відповідно. Вивчається розвиток пожежі на ранній стадії, до початку гасіння (що практично найбільш важливо, оскільки в

більшості випадків внаслідок ефективної роботи підрозділів рятувальників пожежа не встигає перейти в розвинену стадію). Тому можна не враховувати теплообмін за рахунок конвекції і випромінювання, вважати, що на протіканні пожежі не позначається недолік кисню в атмосфері. У теплодимокамері відсутня вентиляція, так що випробування дають оцінку концентрацій компонентів газової фази і макрочасток диму «зверху», що їй потрібно, оскільки наперед відомо, що дійсні значення небезпечних факторів не перевищать розрахункових.

Введемо поняття ефективної площі горіння S_e , що показує, наскільки інтенсивно буде відбуватися процес для даного об'єкта.

Під ефективною площею горіння будемо розуміти площу проекцій поверхонь

S_j , що обмежують об'єкт, на площину (ХОУ), і задовольняє наступну умову: кут α між нормаллю до S_j і віссю Z не перевищує 90° .

Інтуїтивно ясно, що процес горіння поширюється повільніше і повільніше протікає в тих частинах об'єкта, де є «нависаючи» майданчики. Спочатку сформулюємо наступну гіпотезу про вплив геометричних характеристик об'єкта на перебіг пожежі:

поля температур, концентрацій газової фази і макрочасток диму в приміщенні для об'єктів, що складаються з однакового матеріалу і мають однакову ефективну площу горіння, мало відрізняються один від одного, і в практичних завданнях їх можна вважати тотожними.

Іншими словами:

$$\begin{aligned} \varphi_i &= \varphi_i(k, S_e, x, y, z, t, X, Y, Z), i = 1, \dots, N; \\ T &= T(k, S_e, x, y, z, t, X, Y, Z). \end{aligned} \quad (1)$$

Тут індекс k задає вид матеріалу, з якого складається об'єкт. Для деяких об'єктів, наприклад, для випадку горіння ЛЗР або ГР, фізичний зміст поняття ефективної площі горіння очевидний, її значення дорівнює площі дзеркала рідини.

Ми будемо широко використовувати основні положення зонної моделі стосовно розвитку пожежі в приміщенні. Для ефективної організації експерименту нам знадобиться поки лише основний принцип зонної моделі - принцип зонування, що підтверджується великою кількістю експериментів і розрахунків:

1. Основні характеристики розвитку пожежі, утворення, поширення і осадження диму – температура, концентрації компонентів газової фази і макрочасток диму – практично не змінюються всередині «гарячої» і «холодної» зон приміщення, розділених горизонтальною поверхнею розділу зон.

2. Характеристики, зазначені в п. 1., слабо залежать від розташування об'єкта - координат x, y, z при практичних розрахунках зазначеною залежністю можна знехтувати.

На основі принципу зонування легко вказати, які саме характеристики процесу

слід вимірювати при спалюванні кожного конкретного об'єкта для того, щоб отримати вичерпну інформацію:

а) значення температури, концентрацій компонентів газової фази і макрочасток диму на рівні підлоги і стелі приміщення:

$$\begin{aligned} \varphi_{iu} &= \varphi_{iu}(k, S_e, m_o, t, X, Y, Z), i = 1, \dots, N; \\ \varphi_{il} &= \varphi_{il}(k, S_e, m_o, t, X, Y, Z), i = 1, \dots, N; \\ T_u &= T_u(k, S_e, m_o, t, X, Y, Z); \\ T_l &= T_l(k, S_e, m_o, t, X, Y, Z). \end{aligned} \quad (2)$$

б) те ж - на рівні людського зросту (дана вимога важливо, в першу чергу, з точки зору практичних потреб рятувальників):

$$\begin{aligned} \varphi_{im} &= \varphi_{im}(k, S_e, m_o, t, X, Y, Z), i = 1, \dots, N; \\ T_m &= T_m(k, S_e, m_o, t, X, Y, Z). \end{aligned} \quad (3)$$

в) зміна маси об'єкта в залежності від часу (простіше всього помістити об'єкт на ваги):

$$\Delta m = \Delta m(\text{вид об'єкта}, m_o, t). \quad (4)$$

Опис фізико-хімічного процесу пожежі не вичерпується наведеними вище величинами. До них слід додати значення тиску і щільності газової фази в цілому та її компонентів і поле швидкостей у всіх точках приміщення. Однак зазначені величини змінюються незначно, і їх зміна не впливає на ефективність роботи підрозділів ДСНС України.

Розглянемо порядок проведення випробувань у теплотимокамері для набору об'єктів, що складаються з одного і того ж матеріалу (тобто $k = \text{const}$). Проаналізуємо деякі особливості планування експериментів, зокрема, їх трудомісткість, а отже, можливість проведення більшої або меншої кількості випробувань. На підставі виконаного вище аналізу речовин та матеріалів, з точки зору пожежного навантаження і димоутворення [1,2], виділимо групи речовин, небезпечних в пожежному відношенні:

- 1) легкозаймисті або горючі рідини (ЛЗР або ГР);
- 2) деревина.

Об'єкти, в яких основне пожежне навантаження складають наведені вище речовини, і будемо вивчати в першу чергу.

ЛЗР або ГР - найменш трудомісткий об'єкт, з точки зору організації випробувань. Обрано два варіанти проведення випробувань:

- рідина наливається у металевий піддон і підпалюється, тобто немає необхідності кожен раз спалювати новий зразок. Тому в даному випадку можна провести досить велику кількість випробувань;

- досліджується горіння протоки фіксованої маси рідини.

Деревина. Найбільш «важкий» об'єкт. Необхідно при кожному випробуванні спалювати зразок, який може опинитися в приміщенні (меблі, штабель дров тощо). Тому можна розраховувати лише на проведення обмеженої кількості випробувань.

Випробуванням будемо називати послідовність дій по вивченню процесу горіння об'єкта, що знаходиться в одному з приміщень теплотимокамери.

Таблиця 1 – Таблиця оформлення результатів випробувань

t(c)	Концентрації (u)							Концентрації (mid)							Концентрації (l)							T _u	T _l	T _m	m
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7				

Позначення в табл. 1.: концентрації (кг/м³): 1 – діоксид вуглецю (CO₂), 2 - оксид вуглецю (CO), 3 - пари води (H₂O) 4 - кисень (O₂), 5 - хлороводень (HCl), 6 - сірководень (H₂S), 7 - частинки диму. Індекс u відповідає значенням відповідної величини у стелі приміщення, індекс l - на рівні підлоги, індекс mid - на рівні людського зросту (в середньому 1,7 м).

Для обробки первинних експериментальних даних кожного окремого випробування застосуємо метод найменших квадратів, тобто будемо шукати залежності виду:

$$\begin{aligned} \varphi_{iu} &= a_{0i} + a_{1i}t + a_{2i}t^2, i=1...N; \\ \varphi_{il} &= b_{0i} + b_{1i}t + b_{2i}t^2, i=1...N; \\ T_u &= c_{0i} + c_{1i}t + c_{2i}t^2 \dots; \\ T_l &= d_{0i} + d_{1i}t + d_{2i}t^2 \dots; \\ H &= e_0 + e_1t + e_2t^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Вибір поліномів другого ступеня (5) пов'язаний з тим, що у всіх виконаних випробуваннях максимум різниці між значеннями фізичних змінних (7), обчислені за допомогою методу найменших квадратів з використанням поліномів другого ступеня, і їх вимірними значеннями, знаходиться в межах точності вимірювальної апаратури.

Очевидно, що формули типу (5) застосовуються для апроксимації характеристик розвитку пожежі, утворення та поширення диму на висоті людського зросту (оскільки тут можливий «стрибок» - різка зміна параметрів протягом невеликого проміжку часу). У той же час з принципу зонування безпосередньо впливає:

$$\varphi_{im} = \Theta (t - t^*) (a_{0i} + a_{1i}t + a_{2i}t^2) + (1 - \Theta)(t - t^*) (a_{0i} + a_{1i}t + a_{2i}t^2); i=1...N; \quad (6)$$

$$T_{im} = \Theta (t - t^*) (c_{0i} + c_{1i}t + c_{2i}t^2) + (1 - \Theta)(t - t^*) (d_{0i} + d_{1i}t + d_{2i}t^2).$$

Тому значення основних характеристик в даному випадку цілком визначаються значенням t^* - моменту часу, коли поверхня розділу зон знаходиться на висоті $H=1,7$ м.

Результатами первинної обробки даних випробування будемо називати набір таких характеристик:

- коефіцієнти регресії для апроксимації температури, концентрацій

компонентів газової фази і макрочасток диму в «гарячій» і «холодній» зонах;

- коефіцієнти регресії значення маси об'єкта, як функції часу.

Число факторів дорівнює 2 - ефективна площа горіння S_e і маса об'єкта m . Введемо в розгляд узагальнені фактори X_1, X_2 :

$$X_1 = (m - m_{\min}) / (m_{\max} - m_{\min}); \quad (7)$$

$$X_2 = (S_e - S_{e\min}) / (S_{e\max} - S_{e\min}).$$

Коефіцієнти (5) подамо у вигляді лінійних залежностей (емпіричну модель, створену на основі наведеного вище припущення) будемо називати моделлю А:

$$\begin{aligned} a_{0i} &= A_{0i0} + A_{0i1} X_1 + A_{0i2} X_2^2; & a_{1i} &= A_{1i0} + A_{1i1} X_1 + A_{2i1} X_2^2; \\ b_{0i} &= B_{0i0} + B_{0i1} X_1 + B_{0i2} X_2^2; & b_{1i} &= B_{1i0} + B_{1i1} X_1 + B_{2i1} X_2^2; \\ c_0 &= C_{00} + C_{01} X_1 + C_{02} X_2^2; & c_1 &= C_{10i} + C_{1i1} X_1 + C_{2i1} X_2^2; \\ d_0 &= D_{00} + D_{01} X_1 + D_{02} X_2^2; & d_1 &= D_{10i} + D_{1i1} X_1 + D_{2i1} X_2^2; \\ e_0 &= E_{0i0} + E_{0i1} X_1 + E_{0i2} X_2^2; & e_1 &= E_{10} + E_{1i1} X_1 + E_{1i2} X_2^2. \end{aligned} \quad (8)$$

Набір формул, аналогічний (8) і вони представляють собою поліноми другого порядку, будемо називати їх моделлю Б, третього порядку - моделлю В і т. д. Вибір моделі (А, Б, В, ...) і раціональне планування кількості випробувань дозволяють з достатнім ступенем точності визначити

коефіцієнти відповідних поліномів і підтвердити адекватність запропонованої моделі, яка є самостійною задачею.

Формат представлення результатів первинної обробки даних наведено нижче (табл.2).

Таблиця 2 – Формат представлення первинної обробки результатів випробування

№	X_1	X_2	a_{0i}	b_{0i}	c_0	d_0	e_0	f_0	t^*	Похибка апроксимації				
										МНК- δ				
										$\varphi_{iu};$ $i=1,N$	$\varphi_{il};$ $i=1,N$	T_u	T_l	m
			a_{1i}	b_{1i}	c_1	d_1	e_1	f_1						
			a_{2i}	b_{2i}	c_2	d_2	e_2	f_2						

Для апроксимації первинних експериментальних результатів будемо використовувати поліноми другого ступеня, відповідно для подання кожної характеристики процесу потрібно три коефіцієнта; адекватність квадратичної моделі слід обґрунтувати на основі обробки даних випробувань.

Висновки. Запропонований спосіб обробки первинних результатів випробувань дозволяє в компактній формі зберігати великий обсяг інформації, відновити із заданою точністю залежності типу (1)-(4) не складно.

Запропонований порядок планування експерименту дозволяє на основі аналізу та

узагальнення експериментальних результатів, без рішення системи диференціальних рівнянь, що описують процес пожежі, розрахувати основні характеристики розвитку пожежі, утворення та поширення диму в приміщенні. Робота є актуальною, оскільки розраховуються саме ті характеристики пожежі, які необхідні для підвищення ефективності і безпеки роботи підрозділів рятувальників.

Перспективи подальших досліджень. Робота дозволяє на основі розрахунку основних характеристик розвитку пожежі, утворення та поширення диму в приміщенні, знаючи пожежне навантаження, розробити алгоритм вибору найбільш небезпечних в пожежному відношенні об'єктів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Елизаров А.В. Учет химического состава горючего вещества при расчете распространения продуктов горения при пожаре в помещении [Текст] / А.В.Елизаров // Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр. Вып. 38. - Харьков: НУГЗУ, 2015 - С. 69-72.

2. Елизаров А.В. Оперативное определение основных характеристик образования и распространения дыма при пожаре в помещении: дис. канд. техн. наук:

21.06.02 / Елизаров Александр Викторович. – Х., 2001. – 129 с.

3. Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. Методы планирование эксперимента и обработки данных: учеб. пособие / Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 131 с.

4. Грищук Ю. С. Основи наукових досліджень: навч. посібник. – Харків: НТУ «ХП», 2011.- 196 с.

REFERENCES

1. Elizarov A.V. Uchet himicheskogo sostava goryuchego veschestva pri raschete rasprostraneniya produktov goreniya pri pozhare v pomeschenii [Tekst] / A.V.Elizarov // Problemyi pozharnoy bezopasnosti: Sb. nauchn. tr. Vyip. 38. - Harkov: NUGZU, 2015 - С. 69-72.

2. Elizarov A.V. Operativnoe opredelenie osnovnyih harakteristik obrazovaniya i rasprostraneniya dyima pri pozhare v pomeschenii: dis. kand. tehn. nauk:

21.06.02 / Elizarov Aleksandr Viktorovich. – H., 2001. – 129 s.

3. Makarichev Yu.A., Ivannikov Yu.N. Metodyi planirovanie eksperimenta i obrabotki dannyih: ucheb. posobie / Makarichev Yu.A., Ivannikov Yu.N. – Samara: Samar. gos. tehn. un-t, 2016. – 131 s.

4. Grischuk Yu. S. Osnovi naukovih doslidzhen: navch. posibnik. – Harkiv: NTU «HPI», 2011.- 196 s.

*Елизаров А.В., канд. техн. наук, доц.,
Национальный университет гражданской защиты Украины*

ПОРЯДОК ПЛАНИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ПЕРВИЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ В ТЕПЛОДЫМОКАМЕРЕ

В статье приведен порядок планирования и обработки первичных результатов испытаний по изучению развития пожара, образования и распространения дыма в помещении, что позволяет без решения системы дифференциальных уравнений определить

основные характеристики процесса. В основе предложенной модели лежит принцип зонирования и предложенное понятие эффективной площади горения.

Цель работы - выделить некоторые общие характеристики объектов, участвующих в процессе горения на пожаре,

позволяющие объединить их в группы в зависимости от особенностей протекания реакции горения, а также такие закономерности протекания пожара, которые позволяют снизить затраты средств и труда при испытаниях. При планировании испытаний мы будем опираться на априорные положения об особенностях процесса.

Предложенный способ обработки первичных результатов испытаний позволяет в компактной форме хранить большой объем информации, восстановить с заданной точностью ранее полученные зависимости.

Предложен порядок планирования эксперимента, который позволяет на основе анализа и обобщения экспериментальных результатов, без решения системы дифференциальных уравнений, описывающих

процесс пожара, рассчитать основные характеристики развития пожара, образования и распространения дыма в помещении.

Работа позволяет, зная пожарную нагрузку, разработать алгоритм выбора наиболее опасных в пожарном отношении объектов.

Работа является актуальной, поскольку рассчитываются именно те характеристики пожара, которые необходимы для повышения эффективности и безопасности работы подразделений спасателей.

Ключевые слова: *газовая фаза, продукты горения, концентрация токсичных веществ, эффективная площадь горения, безопасность людей на пожарах, анализ тушения пожара.*

*O. Yelizarov, PhD in Technical Sciences, Docent,
National University of Civil Protection of Ukraine*

THE ORDER OF THE PLANNING AND PROCESSING THE PRIMARY RESULTS OF TESTS IN THE SMOKE AND HEAT TRAINING FACILITY

The article is devoted to the planning and processing the primary tests results of fire development, formation and distribution of smoke in the room that allows to determine the basic characteristics of the process without solving the system of differential equations. The proposed model is based on the idea of zoning and the concept of the effective burning area.

The study aims to highlight some common characteristics of the objects, involved in the combustion process, which allow to combine them into groups, depending on the features of the combustion reaction, and such peculiarities of fire process, which allow to reduce material and labor costs during testing. Scheduling tests, the author relies on a priori statements about the features of the process.

The developed method of the processing the primary tests results allows to store a large amount of data compactly and to restore the

previously gained correspondences with the specified accuracy.

The author proposes the order of planning experiment which allows to determine the basic characteristics of fire development, formation and distribution of smoke in the room in virtue of analysis and generalization of experimental results without solving the system of differential equations, describing the fire process. The study allows to develop the algorithm of the selection of the most fire hazardous objects.

The article is relevant, since specifically those characteristics of fire, which are necessary to improve the efficiency and safety of the rescue units, are calculated in it.

Key words: *gas phase, combustion products, the concentration of toxic substances, effective burning area, the safety of people in fires, the analysis of fire extinguishing.*