

*А.В. Елизаров, канд. техн. наук, доцент, НУГЗУ*

## **ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ**

(представлено д-ром техн. наук Алексеевым О.П.)

В статье рассмотрены наиболее важные вопросы численной реализации математической модели процесса развития пожара, образования и распространения дыма в помещении.

**Ключевые слова:** высота поверхности раздела зон, “холодная” и «горячая» зона, факторный план, момент возгорания, скорость пиролиза, эффективная площадь горения, удельная теплота сгорания

**Постановка проблемы.** Рассматриваются основные количественные характеристики процесса развития пожара, которые впоследствии следует учитывать при разработке физических и математических моделей системы “ПОЖАР- ДЫМ”, пригодных для быстрого получения результатов в повседневной практике работников МЧС. При этом особое внимание уделяется роли экспериментальных исследований в изучении развития пожара в помещениях, что обусловлено сложностью процесса, для которого практически невозможно построить адекватную физическую и математическую модель.

На основе выполненного анализа существующих методов борьбы с дымом, особенностей численного и экспериментального моделирования процесса развития пожара, образования и распространения дыма в помещении, ставится задача определения концентраций макрочастиц и опасных для жизни компонентов газовой фазы. При формулировке задачи учитывались, в первую очередь, практические потребности работников МЧС в точной и своевременной информации о влиянии дыма на состояние людей.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Описание математической модели процесса развития пожара, образования и распространения дыма показаны в [1-4], но они не учитывают химического состава горючего вещества.

**Постановка задачи и ее решение.** Численная реализация математической модели процесса развития пожара, образования и распространения дыма в помещении выполнена на языке MICROSOFT FORTRAN 5.0. Файл входных данных содержит:

- начальное значение давления (по умолчанию задается атмосферное давление); начальное значение температуры в помещении ( $^{\circ}\text{C}$ ); шаг расчета по времени  $\Delta t$ ;

- количество объектов N. В первой версии программы все объекты рассматриваются, как локальные;

- данные об i-м объекте,  $i=1, \dots, N$ : момент возгорания  $t_i$  (с); масса  $m$  (кг); скорость пиролиза  $v_f$  (кг/с); эффективная площадь горения  $S_e$ , удельная теплота сгорания (Дж/кг);  $CO/CO_2$ ;  $\varphi_S$ ,  $\varphi_{HCl}$ ,  $\varphi_{HCN}$ ,  $\varphi_{H_2O}$ .

Полученные значения  $Y_i(t)$  аппроксимируются квадратичными полиномами с помощью МНК. Точки  $t_k$  выберем, как и в случае проведения испытаний в теплодымокамере:

$$t_k=(k-1)\Delta t; \Delta t=5 \text{ мин.}$$

Файл результатов расчета RES.dat содержит таблицу вида табл. 1.

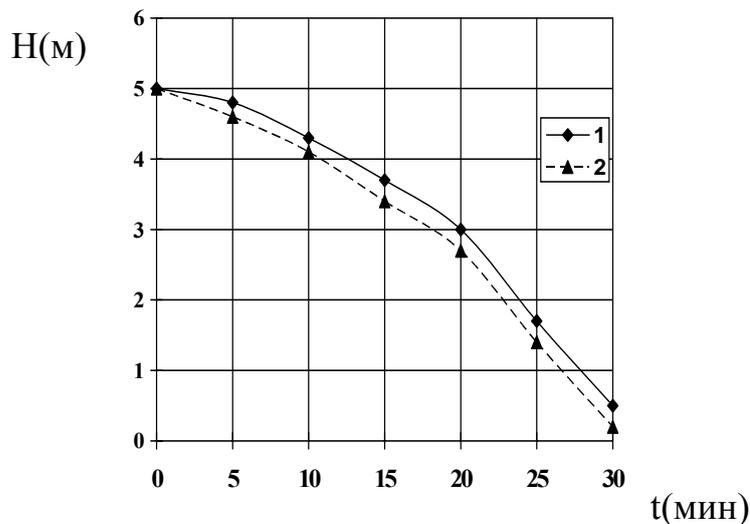
Таблица 1

Формат представления результатов расчета

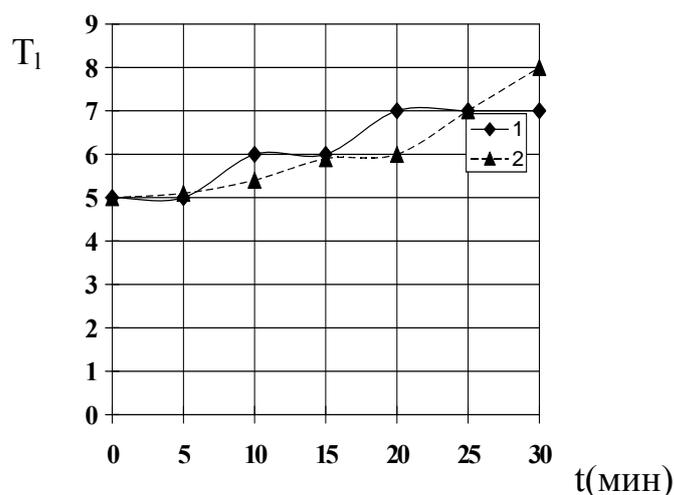
Момент t (мин.)	CO		CO <sub>2</sub>		S		HCl		HCN		H <sub>2</sub> O		T(°C)		H(м)
	кг/м <sup>3</sup>		кг/м <sup>3</sup>		кг/м <sup>3</sup>		кг/м <sup>3</sup>		кг/м <sup>3</sup>		кг/м <sup>3</sup>		кг/м <sup>3</sup>		
	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	L	U	U	L	

Верификацию алгоритма выполним с помощью сравнения данных испытаний с результатами численного эксперимента. Зависимости некоторых характеристик пожара от времени в графической форме приведены на Рис.3.2 для одного из испытаний - горения бензина АИ-93;  $m=5$  кг.,  $S_e=2.34$  м<sup>2</sup>.

а) Высота поверхности раздела зон



б) Температура в “холодной” зоне, °C (1- эксперимент, 2- расчет).



в) Температура в “горячей” зоне, °С (1- эксперимент, 2- расчет).

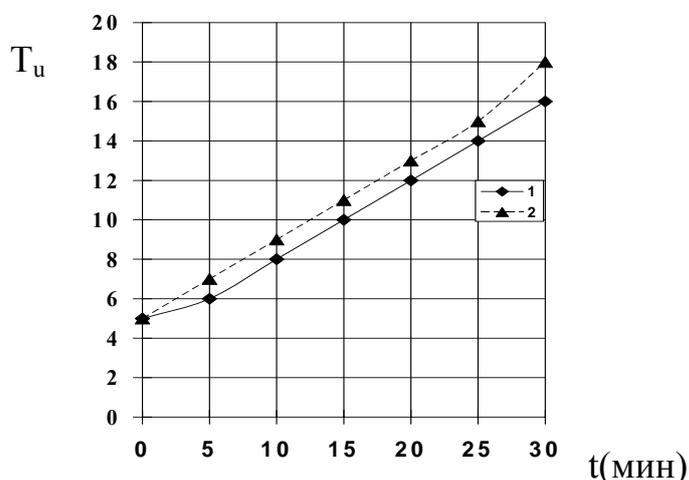


Рис. 1 - Некоторые примеры сравнения результатов расчета и эксперимента

Введем в рассмотрение величины:

$$Z_{ik} = \max_{t \in [0; T]} \left\{ \frac{|y_{ik}(t) - \tilde{y}_{il}(t)|}{\min(y_{ik}(t); \tilde{y}_{il}(t))} \right\}, \quad i=1, \dots, L. \quad (1)$$

В числителе выражения (1) стоит модуль разницы между рассчитанным значением  $y_i(t)$  и экспериментальным результатом, в знаменателе – минимум рассчитанного и полученного при испытаниях значения функций. По построению  $Z_{ik}$  представляет собой максимум разницы между двумя функциями, выраженный в долях единицы. Иными словами, выражение  $Z_{ik}=a$  эквивалентно выражению значения  $y_i(t)$ , полученные в результате испытаний, отличаются от рассчитанных не более, чем на  $a \cdot 100\%$ . Критерий  $Z_{ik}$  используем для количественной оценки адекватности алгоритма. Результаты сравнения

данных испытаний и расчетов приведены в табл.2.

**Таблица 2**  
**Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными**  
**(горение бензина АИ-93 внутри емкости)**

К	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Z <sub>k</sub> (T)		Z <sub>k</sub> (CO)		Z <sub>k</sub> (CO <sub>2</sub> )		Z <sub>k</sub> (H)
			U	L	U	L	U	L	
1	1	1	0.05	0.071	0.025	0.093	0.044	0.09	0.12
2	1	-1	0.09	0.083	0.031	0.055	0.038	0.071	0.15
3	-1	1	0.021	0.066	0.042	0.068	0.076	0.037	0.18
4	-1	-1	0.048	0.054	0.030	0.045	0.091	0.039	0.11
5	1	0	0.058	0.064	0.05	0.061	0.031	0.047	0.12
6	0	1	0.066	0.041	0.071	0.055	0.077	0.033	0.14
7	-1	0	0.041	0.091	0.022	0.045	0.021	0.043	0.11
8	0	-1	0.053	0.041	0.071	0.018	0.036	0.055	0.12

Примечание: точки 1,2,3,4 соответствуют полному факторному плану, 5,6,7,8- «звездные» точки. В качестве функции отклика выбиралось среднее арифметическое из всех значений, полученных в результате  $\nu$  испытаний, выполненных в каждой точке факторного пространства.

**Таблица 3**  
**Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными**  
**(горение пролива бензина АИ-93)**

К	X <sub>1</sub>	Z <sub>k</sub> (T)		Z <sub>k</sub> (CO)		Z <sub>k</sub> (CO <sub>2</sub> )		Z <sub>k</sub> (H)
		U	L	U	L	U	L	
1	-1	0.043	0.033	0.068	0.041	0.016	0.017	0.15
2	-0.5	0.056	0.065	0.045	0.059	0.056	0.063	0.12
3	0	0.077	0.060	0.087	0.069	0.019	0.046	0.09
4	0.5	0.021	0.069	0.066	0.018	0.069	0.053	0.08
5	1	0.065	0.054	0.045	0.049	0.051	0.091	0.14

**Таблица 4**  
**Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными**  
**(горение кресел из дерева)**

К	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Z <sub>k</sub> (T)		Z <sub>k</sub> (CO)		Z <sub>k</sub> (CO <sub>2</sub> )		Z <sub>k</sub> (H)
			U	L	U	L	U	L	
1	1	1	0.11	0.19	0.17	0.14	0.09	0.18	0.16
2	1	-1	0.16	0.13	0.17	0.11	0.13	0.14	0.1
3	-1	1	0.09	0.15	0.10	0.12	0.12	0.19	0.18
4	-1	-1	0.08	0.14	0.13	0.08	0.15	0.2	0.14

**Выводы.** Анализ данных таблиц 1- 4 позволяет сделать вывод о том, что алгоритм расчета дает достаточно точную информацию о процессе (по крайней мере, для тех характеристик, которые измерялись при испытаниях). В большинстве случаев погрешность не превышает 10-15%.

Несколько большее расхождение получено для высоты поверх-

ности раздела зон, что связано, возможно, с ошибкой измерений при визуальном определении высоты поверхности.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют адекватно рассчитать основные характеристики развития пожара, образования и распространения дыма в изолированном помещении фиксированных размеров (теплодымокамере).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Елизаров А.В. Схема анализа развития пожара, образования и распространения дыма на промышленных объектах г. Харькова// Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр. Вып. 5.- Харьков: ХИПБ, 1999.- С. 91-93.

2. Елизаров А.В. Приближенный способ учета химического состава горючего вещества при расчете распространения частиц дыма и вредных продуктов горения в помещении во время пожара// Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр. Вып. 2.- Харьков: ХИПБ, 1997.- С. 36-39.

3. Особенности численной реализации алгоритма расчета развития пожара в помещении: материалы IV научно-практической конференции “Пожежна безпека - 99”, г. Черкассы, 1999. Сб. научн. тр. Ч.1. – С.190-192.

4. Удяньський М.М. Визначення часу заповнення димом безпечної зони приміщення з обмеженням повітрообміном при пожежі. / Удяньський М.М., Кутявін А.Г. // Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр. Вып. 29 - Харьков: НУГЗУ, 2011. - С. 161-165.

nuczu.edu.ua

О.В. Єлізаров

**Чисельна реалізація математичної моделі процесу розвитку пожежі у приміщенні**

В статті розглянуті найбільш важливі питання чисельної реалізації математичної моделі процесу розвитку пожежі, утворення та розповсюдження диму у приміщенні

**Ключові слова:** висота поверхні розподілу зон, “холодна” и «гаряча» зона, факторний план, момент возгоряния, швидкість піролізу, ефективна площа горіння, питома теплота сгоряння

A.V. Elizarov

**The numerical realization of the mathematical model of the process of the development of fire**

In the accomodation in the article are examined most important questions the numerical realization of the mathematical model of the process of the development of fire, formation and propagation of smoke in the accommodation

**The keywords:** the height of the interface of zones, “cold” and “hot” zone, factor plan, the moment of fire, the speed of pyrolysis, effective burning area, specific heat of combustion