

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ЗАЖИГАНИЯ
СМЕСЕВОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА ОДИНОЧНЫМИ НАГРЕТЫМИ ЧАСТИЦАМИ**

Курмангалиев Р.Х., Можевитин Д.В.

Научный руководитель: Кац М.Д., доцент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: rinat_real@rambler.ru, daniel.mozhevitin@mail.ru

**MATHEMATICAL PROCESSING OF EXPERIMENTAL DATA IGNITION COMPOSITE SOLID
PROPELLANT SOLITARY HEATED PARTICLES**

Kurmangaliyev R.K., Mozhevitin D.V.

Scientific Supervisor: Katz M.D.

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: rinat_real@rambler.ru, daniel.mozhevitin@mail.ru

Abstract. This article presents a mathematical method for processing experimental data. Were obtained mathematical expressions for delay the ignition of condensed matter by single particles heated from the initial temperature of the particles of the obtained data, and select the most appropriate dependences.

В настоящее время изучение закономерностей и механизма зажигания конденсированного вещества (КВ) одиночными нагретыми частицами является актуальной задачей [1, 2]. Это обусловлено практической значимостью результатов исследований. Такой задачей является определение условий устойчивости переходного процесса, когда процесс инициирования сменяется стационарным самоподдерживающим горением без дополнительного подвода энергии от внешнего источника [3].

При локальном (кондуктивном) источнике энергии воспламенение КВ возможно в определенном температурном интервале, когда теплового потока в зону возможного зажигания достаточно для прогрева и инициирования самоподдерживающегося горения [3]. Этот процесс характеризуется зависимостью времени зажигания топливной композиции от температуры горячей частицы $t_{\text{ign}} = f(T_0)$, которая может быть получена экспериментально [4]. Принципиальная схема установки [4] приведена на *рис. 1*.

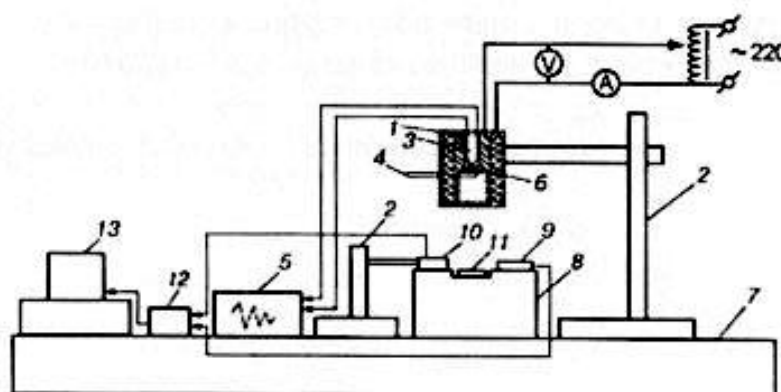


Рисунок 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 –нагревательный прибор; 2 – штатив; 3 –термопара; 4 –удерживающий стержень; 5 – регистрирующий прибор; 6 – металлическая частица; 7 – рабочая поверхность установки; 8 – огнестойкая площадка; 9 – приемник излучения и регистратор пламени; 10 – излучатель; образец КВ; 12 –АЦП; 13 – персональный компьютер

В качестве источника зажигания 6 использовался металлический диск диаметром $3 \div 6$ мм и толщиной 2 мм, нагреваемый в электрической печи. При достижении заданной температуры T_0 открывался удерживающий стержень 4, и нагретая частица 6 падала на образец КВ. Через определенное время в поле соприкосновения частицы с образцом происходило зажигание КВ. Время от момента соприкосновения частицы с КВ до ее зажигания измерялась при помощи персонального компьютера. В результате проведенных экспериментов получены [4] зависимости времени задержки зажигания от начальной температуры частицы (рис.2).

Для использования полученных результатов в теплотехнических расчетах требуется математическая обработка полученных экспериментальных данных в виде операций интерполяции или аппроксимации.

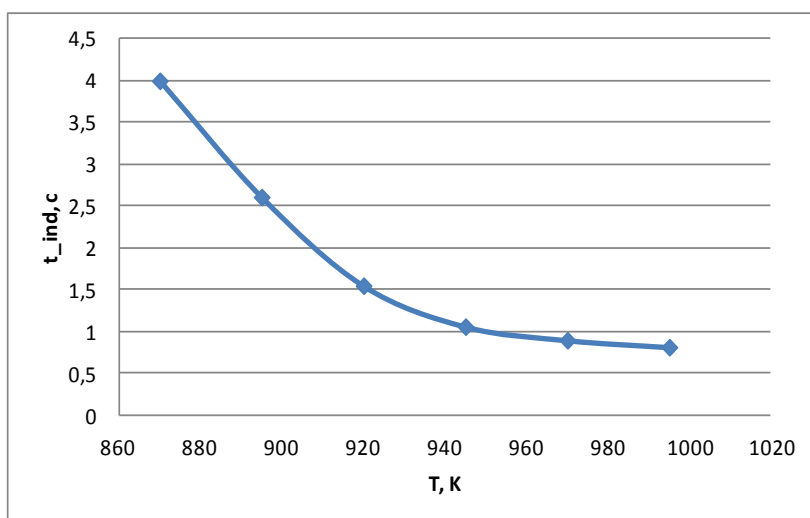


Рис. 2. Экспериментальная зависимость времени задержки зажигания от начальной температуры частицы КВ [4]

Эти операции позволяют получить аналитические выражения по значениям экспериментальной табличной функции для проведения теплотехнических расчетов.

Целью данной работы является получение математического выражения времени задержки зажигания от начальной температуры частицы по полученным в [4] экспериментальным данным. Для этой цели использовались аппроксимация функции различными методами табл.1 [5].

Таблица 1

Наименование и вид интерполирующих функций [5]

№	Наименование интерполирующей функции	Математический вид функции
1	Параболическая	$y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2$
2	Экспоненциальная (показательная) функция	$y(t) = e^{a_0 + a_1 t + a_2 t^2}$
3	Логарифмическая функция	$y(t) = a_0 + a_1 \cdot \ln(t)$
4	Функция Конюса	$y(t) = t(a_0 + a_1 \cdot \ln(t))$

№	Наименование интерполирующей функции	Математический вид функции
5	Логистическая (сигмоидальная) функция	$y(t) = a_0 / (1 + a_1 \cdot e^{-a_2 t})$
6	Гиперболическая функция	$y(t) = a_0 + a_1 / t^n$
7	Степенная полиномиальная функция	$y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n$
8	Линейная функция	$y(t) = a_0 + a_1 t$
9	Степенная функция	$y(t) = a_0 \cdot t^{a_1}$
10	Комбинация линейной и логарифмической функций	$y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 \cdot \ln(t)$
11	Функция Торнквиста	$y(t) = a_0 t / (a_1 + t)$
12	Частный случай логистической функции	$y(t) = 1 / (a_0 + a_1 \cdot e^{-t})$
13	Комбинация линейной и гиперболической функций	$y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 / t$

Расчеты проводились с использованием математического пакета Mathcad 15. Оценка погрешности интерполяции определялась расчетом среднеквадратичного отклонения по выражению [5]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(y_a - y_{\text{табл}})^2}{n}},$$

где $y_a, y_{\text{табл}}$ - значения ординат интерполируемой и табличной функции;

n – число узлов табличной функции.

Результаты расчетов представлены в табл.2. Согласно [5], чем меньше среднеквадратичное отклонение значений интерполирующей функции от табличной, тем ближе расположена интерполяционная кривая к экспериментально полученной зависимости.

Таблица 2.

Результаты расчетов оценки погрешности интерполяции

№ интерполирующей функции	Погрешность интерполяции
1	0,073346211
2	$\rightarrow \infty$
3	0,436167972
4	3,057765088
5	1,146411648
6	0,082635747 (n=20)
7	0,115441183
8	0,57365858
9	0,147586698
10	0,890206905
11	0,17518847
12	1,146412375
13	0,35813289

Как видно из табл.2 из всех рассмотренных функций наименьшее среднеквадратичное отклонение оказалось у параболической и гиперболической функций. Для остальных функций разброс составлял более 0,1. Математические выражения параболической и гиперболической функций имеют вид:

$$y_1(t) = 275,762 + 0,564t + 0,00029t^2$$

$$y_2(t) = 0,485 + \frac{21,84 \cdot 10^{58}}{t^{20}}$$

На рис.3 показаны результаты интерполяции параболической и гиперболической функций

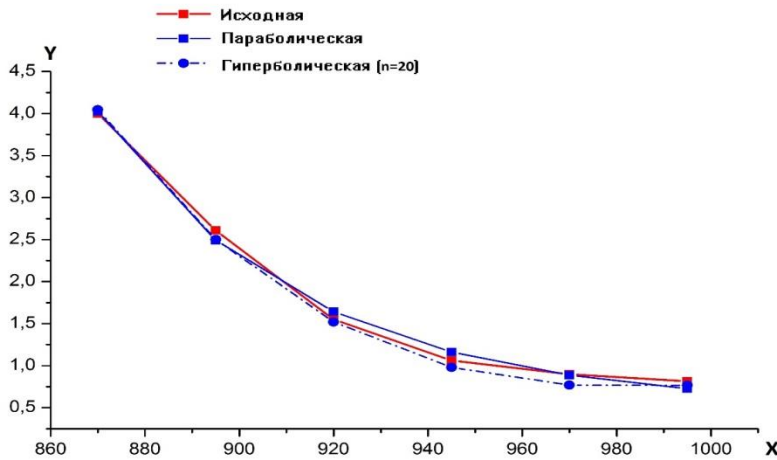


Рис. 3. Графики исходной и аппроксимирующих функций

В результате проведенных вычислений получены аналитические выражения интерполирующих функций с наименьшими погрешности интерполяции экспериментальных данных. Полученные выражения будут использоваться в расчетах по определению области устойчивости зажигания конденсированного топлива Одиночной «горячей» частицей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мак Алеви Р.Ф., Каунан П.Л., Саммерфилд М. Механизм воспламенения смесевых твердых топлив горячими газами //Исследование ракетных двигателей на твердом топливе: сб. Статей. – М.: изд-во иностр. Лит., 1963. – С. 397–415.
2. Кузнецов Г.В., Мамонтов Г.Я., Таратушкина Г.В. численное моделирование зажигания конденсированного вещества нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. – 2004. – Т. 40, № 1. – С. 78–85.
3. Глушков О.Д., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Об устойчивости зажигания смесового твердого топлива локальным источником ограниченной энергоемкости // Физика горения и взрыва. – 2014. – Т. 50, № 6. – С. 54–60.
4. Захаревич А.В., Кузнецов В.Т., Кузнецов Г.В., Максимов В.И. зажигание модельных смесевых топливных композиций одиночной, нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. – 2008. – Т. 44, № 5. – С. 54–57.
5. Поран П.Ж. Аппроксимация и оптимизация. – М.: Мир. – 496 с.