

---

# **NONEQUILIBRIUM PROCESSES: RECENT ACCOMPLISHMENTS**

---

**Edited by**

**S. Frolov  
A. Lanshin**

**TORUS**  **MOSCOW**  
**PRESS** **2020**

THE COMBUSTION RATE OF AMMONIUM  
PERCHLORATE BASED METALLIZED COMPOSITE  
SOLID PROPELLANT IN THE FORCE FIELD

A. Yu. Krainov, V. A. Poryazov, and D. A. Tsvetkova

Tomsk State University  
36 Lenin Ave., Tomsk 634050, Russia  
e-mail: poryazov@ftf.tsu.ru

The paper presents a mathematical model of combustion of ammonium perchlorate (AP) based composite solid propellant with the addition of aluminum powder in the field of mass forces. The aim of this work was to determine the combustion rate of AP based composite solid propellant with the addition of aluminum powder in the field of mass forces depending on the size and mass fraction of aluminum particles in the propellant composition as well as the value of the mass force field.

---

СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ МЕТАЛЛИЗИРОВАННОГО  
СМЕСЕВОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА  
В ПОЛЕ МАССОВЫХ СИЛ

А. Ю. Крайнов, В. А. Порязов, Д. А. Цветкова

Томский государственный университет  
Россия, Томск 634050, просп. Ленина, д. 36  
e-mail: poryazov@ftf.tsu.ru

Представлена математическая модель горения смесового твердого топлива на основе перхлората аммония с добавлением порошка алюминия в поле массовых сил.

Целью работы являлось определение скорости горения смесового твердого топлива с добавлением порошка алюминия в зави-

DOI: 10.30826/NEPCAP9A-34 ©The authors published by TORUS PRESS

симости от размера и массовой доли частиц алюминия в составе топлива, а также величины поля массовых сил.

Математическая постановка задачи основывается на постановке в работах [1, 2]. Предполагается, что в твердом топливе при нагревании идут химические реакции, полупродуктами которых является газ. Газообразные продукты разложения высвобождаются на последней стадии реакции по достижении глубины превращения 0,99. Предполагается первый порядок реакции и зависимость ее скорости от температуры по закону Аррениуса. Теплофизические характеристики твердой фазы: плотность, удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности — не зависят от температуры и определяются компонентным составом твердого топлива путем осреднения. Физико-химические процессы в твердой фазе определяются уравнением теплопроводности конденсированной фазы и уравнением полуразложения окислителя. В газовой фазе учитываются экзотермическая химическая реакция, конвекция и диффузия реагента, нагрев, зажигание и горение частиц алюминия в потоке газа, движение продуктов сгорания, отставание скорости движения частиц от газа, влияние перегрузки на движение частиц алюминия. Горение частиц алюминия описывается на основе экспериментальных данных [3], а воспламенение частицы алюминия происходит при достижении ею определенной температуры. На границе раздела фаз ставятся граничные условия IV рода (условия сопряжения). Процессы агломерации порошка алюминия на поверхности горения не рассматриваются. При построении модели рассматриваются одномерные нестационарные процессы, в которых давление и величина массовых сил не зависят от координаты, но могут зависеть от времени.

Проведен расчетно-теоретический анализ влияния дисперсности частиц алюминия и величины перегрузки на скорость горения смесового металлизированного твердого топлива. Получены зависимости скорости горения от времени при переменной величине поля массовых сил.

Исследование выполнено за счет гранта Президента РФ МК-96.2020.8.

## Литература

1. *Poryazov V. A., Krainov D. F.* Combustion of solid propellant with micron-sized aluminium under the acceleration force // MATEC Web Conf., 2017. Vol. 115. doi: 10.1051/mateconf/2017111503002.
2. *Krainov A. Y., Poryazov V. A., Krainov D. A.* Unsteady combustion modeling of metallized composite solid propellant // IREMOS, 2018. Vol. 11. No. 5. P. 297-305. doi: 10.15866/iremos.v11i5.15020.
3. *Беляев А. Ф., Фролов Ю. В., Коротков А. И.* О горении и воспламенении частиц мелкодисперсного алюминия // Физика горения и взрыва, 1968. № 3. С. 323-329. doi: 10.1007/BF00750857.