

# ВЛИЯНИЕ СОЛЕЙ ФЕРРОЦЕНДИКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ НА СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ БАЛЛИСТИТНОГО ТОПЛИВА\*

А. П. Денисюк<sup>1</sup>, В. А. Сизов<sup>2</sup>, А. Г. Хина<sup>3</sup>

**Аннотация:** Синтезирована 1,1'-ферроцендикарбоновая кислота (ФДК), а также ее нерастворимые в воде соли — медная, железная и свинцовая, и исследовано их влияние на скорость горения среднекалорийного топлива Н. Показано, что наибольшей эффективностью в индивидуальном виде обладает медная соль ФДК (МФДК), 3% которой в интервале давлений 1–10 МПа увеличивают скорость горения в ~ 2,2–1,9 раза. Углеродные нанотрубки (УНТ) значительно увеличивают эффективность действия МФДК ( $Z_1 = 4,5$ ;  $Z_{10} = 3,1$ ). Найдено оптимальное соотношение между катализатором и УНТ, при котором его влияние проявляется в широком диапазоне давлений (до 60 МПа). Железная соль (ЖФДК) слабо влияет на скорость горения топлива при давлении до 2 МПа, а при более высоком давлении — только в сочетании с УНТ. Обнаружено интересное явление — ЖФДК снижает эффективность действия МФДК. Предложено объяснение этому факту.

**Ключевые слова:** баллиститное топливо; катализ горения; катализаторы горения; ферроцендикарбоновая кислота

**DOI:** 10.30826/CE19120412

## Литература

1. Денисюк А. П., Козырева Т. М., Хубаев В. Г. О влиянии соотношения между PbO и сажей на скорость горения баллиститного пороха // *Физика горения и взрыва*, 1975. № 2. С. 315–318.
2. Андросов А. С., Денисюк А. П., Токарев Н. П. О некоторых закономерностях влияния свинцово-медных катализаторов на скорость горения баллиститного пороха // *Физика горения и взрыва*, 1976. Т. 12. № 5. С. 780–782.
3. Денисюк А. П., Марголин А. Д., Токарев Н. П., Хубаев В. Г., Демидова Л. А. Роль сажи при горении баллиститных порохов со свинецсодержащими катализаторами // *Физика горения и взрыва*, 1977. Т. 13. № 4. С. 576–584.
4. Денисюк А. П., Демидова Л. А., Галкин В. И. Ведущая зона горения баллиститных порохов с катализаторами // *Физика горения и взрыва*, 1995. Т. 31. № 2. С. 32–40.
5. Денисюк А. П., Демидова Л. А., Сизов В. А., Меркушкин А. О. Влияние углеродных нанотрубок на закономерности горения низкокалорийного пороха // *Горение и взрыв*, 2017. Т. 10. № 1. С. 59–63.
6. Денисюк А. П., Милёхин Ю. М., Демидова Л. А., Сизов В. А. Влияние углеродных нанотрубок на закономерности катализа горения пороха // *Докл. Акад. наук*, 2018. Т. 483. № 6. С. 628–630.
7. Nguyen T. T. The effects of ferrocenic and carborane derivative burn rate catalysts in AP composite propellant combustion: Mechanism of ferrocene-catalysed combustion. Melbourne, Vic.: DSTO Aeronautical and Maritime Research Laboratory, 1995. Technical Report DSTO-TR-0121.
8. Синдицкий В. П., Чёрный А. Н., Марченков Д. А. Механизм катализа горения производными ферроцена. 2. Горение топлива на основе перхлората аммония с производными ферроцена // *Физика горения и взрыва*, 2014. Т. 50. № 1. С. 59–68.
9. Woodward R. B., Rosenblum M., Whiting M. C. A new aromatic system // *J. Am. Chem. Soc.*, 1952. Vol. 74. No. 13. P. 3458–3459.
10. Козлова М. С., Маркин А. В., Ларина В. Н., Летянина И. А. Термодинамические свойства ферроцендикарбоновой кислоты // *Ж. физ. химии*, 2014. Т. 88. № 2. С. 216–221.
11. Knobloch F. W., Rausher W. H. Condensation polymers of ferrocene derivatives // *J. Polym. Sci.*, 1961. Vol. 54. P. 651–656.
12. Зенин А. А. Процессы в зонах горения баллиститных порохов // *Физические процессы при горении и взрыве*. — М: Атомиздат, 1980. С. 68–105.
13. Денисюк А. П., Демидова Л. А. Особенности влияния некоторых катализаторов на горение баллиститных порохов // *Физика горения и взрыва*, 2004. Т. 40. № 3. С. 69–76.
14. Головина Л. А., Денисюк А. П., Токарев Н. П., Хубаев В. Г., Хромов В. И. О механизме действия Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при горении модельного нитроглицеринового поро-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РХТУ им. Д. И. Менделеева (проект № 021-2018).

<sup>1</sup> Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, denisap@rctu.ru

<sup>2</sup> Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, sizovlad@gmail.com

<sup>3</sup> Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

- ха // Физика горения и взрыва, 1981. Т. 17. № 6. С. 137–140.
15. *Шепелев Ю. Г., Фогельзанг А. Е., Денисюк А. П., Демидов А. Е.* Влияние начальной температуры на скорость горения баллиститных порохов в области высокого давления // Физика горения и взрыва, 1990. Т. 26. № 4. С. 40–45.

*Поступила в редакцию 11.11.19*