**Влияние оксалатов переходных металлов на скорость горения низкокалорийного двухосновного топлива**

**Сидорова П.Г.,1Моисеев Д.М.,1 Винокуров Д.А.,1Сизов В.А.1**

*Аспирант 1 года*

*Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева*

*E-mail:* [*sidorova.p.g@muctr.ru*](mailto:sidorova.p.g@muctr.ru)

Важнейшее требование к современным твердым ракетным топливам – низкая зависимость скорости горения от давления. Такую зависимость возможно получить, вводя в их состав модификаторы горения – соединения переходных металлов [1] в сочетании с углеродными материалами, например, с сажей или углеродными нанотрубками, которые обладают более развитой поверхностью и большей теплопроводностью, чем сажа [2]. Они способствуют образованию углеродного каркаса на поверхности горения, на котором происходит накопление частиц модификатора. Штатные модификаторы, применяемые в настоящие время (соединения Pb, Cu, Ni) являются экологически вредными и токсичными для человека [3]. Это приводит к вредным условиям труда работников производств; сложностям при утилизации; ограниченности использования в продукции мирного назначения. Поэтому вопрос поиска экологически безопасных, малотоксичных для человека и окружающей среды модификаторов горения, не уступающих по эффективности действия штатным, стоит довольно остро.

Исследования проводили на двухосновном твердом топливе (Qж = 2520 кДж/кг). В качестве модификаторов применяли оксалаты железа (ОЖ) и марганца (ОМ), синтезированные на кафедре ХТВМС. В качестве углеродных материалов применялись сажа и углеродные нанотрубки. Модификаторы вводились в количестве 3%, а углеродные материалы в количестве 1.5% за счет пропорционального уменьшения компонентов топлива. Скорость горения определяли в приборе постоянного давления в атмосфере азота в интервале 0.1-12 МПа. Точность определения скорости горения ±2%. Закон горения описывается выражением U = Bpν. Эффективность действия добавок оценивали величиной Z = Uдоб/U0, где Uдоб и U0 – скорость горения топлива с добавками и без них, соответственно.

В индивидуальном виде ОЖ не оказывает влияния на скорость горения, ОМ в свою очередь дает прирост на 30-40% к скорости горения, но увеличивает зависимость от давления. При добавлении углеродных материалов скорость горения возрастает. На действие ОЖ сажа и УНТ оказывают близкий эффект (Z2 = 3.0; Z10 = 2.0), однако сажа эффективнее снижает зависимость u(p) – от 0.84 до 0.47; и до 0.54 в случае УНТ при давлении выше 2 МПа. Эффективность действия ОМ с сажей ниже – скорость горения увеличивается в 2.3 раза при 2 МПа. Комбинированное действие ОЖ и ОМ (1:1) в сочетании с сажей не привело к синергетическому эффекту. Эффективность действия добавок падает с ростом давления, что связано с трудностями образования углеродного каркаса при изменении условий.

Изученные Оксалаты переходным металлов, особенно ОЖ можно рассматривать в качестве малотоксичной альтернативой штатным модификаторам горения, но уступают по эффективности своего влияния (Z2 = 6.0; Z10 = 3.0, ν = 0.41).

**Литература**

1. Денисюк А.П., Демидова Л.А., Ньен Ч.А. Особенности влияния катализаторов на горение баллиститного пороха в различных условиях // Вестник Казанского технологического университета. 2007. – № 2. – С. 77-83.
2. Денисюк А.П., Милёхин Ю.М., Демидова Л.А., Сизов В.А. 2018. Влияние углеродных нанотрубок на закономерности катализа горения пороха // Доклады Академии Наук. 483(6): 632-634.
3. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Система стандартов безопасности труда: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 71 с.