

ДИЦИАНОМЕТИЛЬНОЕ И ДИТЕТРАЗОЛОМЕТИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДНЫЕ БИСФУРАЗАНОПИПЕРАЗИНА КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ДИСПЕРГАТОРЫ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ ДЛЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ*

Д. Б. Лемперт¹, Д. В. Дашко², А. И. Казаков¹, Е. Л. Игнатъева¹, А. В. Набатова¹

Аннотация: Впервые синтезированы новые энергоемкие соединения 4,8-дицианометил-4Н,8Н-дифуразано[3,4-*b*:3',4'-*e*]пиперазин (ДЦМФП) и 4,8-дитетразолометил-4Н,8Н-дифуразано[3,4-*b*:3',4'-*e*]пиперазин (ДТМФП). Описан синтез этих соединений. Оба соединения исследованы как возможные диспергаторы твердых топлив для газогенерирующих двигателей, определены их плотности, энтальпии сгорания и образования, чувствительности к удару и трению (у ДЦМФП чувствительность очень низкая, на уровне тротила; у ДТМФП — на уровне октогена), оценена баллистическая эффективность твердых топлив на основе ДЦМФП и ДТМФП (у 7-амино-7Н-дифуразано[3,4-*b*:3',4'-*f*]фуросано[3'',4''-*d*]азепина, он же Az(O)NH₂, первый выигрывает 4%, второй проигрывает ~ 1,5%), проведено сравнение и с рядом других диспергаторов, разрабатываемых в течение последних нескольких лет. Методом дифференциального термического анализа (ДТА) в неизотермическом режиме проведено предварительное тестирование ДЦМФП и ДТМФП на термостойкость, показано, что эти компоненты весьма стабильны, так называемая температура начала интенсивного разложения составляет 312 и 270 °С соответственно.

Ключевые слова: твердые топлива (ТТ); газогенераторный двигатель (ГГД); диспергатор; синтез; дицианометилдифуразанопиперазин (ДЦМФП); дитетразолометилдифуразанопиперазин (ДТМФП); энтальпия образования; баллистическая эффективность; чувствительность; термостабильность

DOI: 10.30826/CE23160310

EDN: QHLWYV

Литература

1. *Klapötke T. M.* Chemistry of high-energy materials. — 3rd ed. — Berlin: de Gruyter GmbH, 2015. 333 p.
2. *Chavez D. E.* Energetic heterocyclic N-oxides. // Topics in heterocyclic chemistry / Ed. O. V. Larionov. — Berlin: Springer, 2017. Vol. 53. P. 1–27. doi: 10.1007/7081_2017_5.
3. Химия нитросоединений и родственных азот-кислородных систем / Отв. ред. М. П. Егоров, В. А. Тартаковский, С. Г. Злотин. — М.: МАКС Пресс, 2019. 391 с. doi: 10.29003/m711.aks-2019.
4. *Яновский Л. С., Лемперт Д. Б., Разносчиков В. В., Аверьков И. С.* Оценка эффективности твердых топлив на основе высокоэнтальпийных диспергаторов для ракетно-прямоточных двигателей // Ж. прикл. химии, 2019. Т. 92. № 3. С. 322–342. doi: 10.1134/S0044461819030071.
5. *Казаков А. И., Лемперт Д. Б., Набатова А. В., Дашко Д. В., Разносчиков В. В., Яновский Л. С., Алдошин С. М.* Кинетические закономерности тепловыделения при термическом разложении 7-амино-7Н-дифуразано[3,4-*b*:3',4'-*f*]фуросано[3'',4''-*d*]азепина и бинарного топлива на его основе // Ж. прикл. химии, 2019. Т. 92. С. 1657–1665. doi: 10.1134/S0044461819130036.
6. *Лемперт Д. Б., Дашко Д. В., Казаков А. И., Игнатъева Е. Л., Набатова А. В., Разносчиков В. В., Яновский Л. С.* Новые производные фуразаноазепинов в качестве диспергаторов в твердых неметаллизированных газогенераторных топливах // Междунар. форум двигателестроения. — М., 2022. С. 479–482.
7. *Лемперт Д. Б., Казаков А. И., Шилов Г. В. и др.* Аллилзамещенные фуразаноазепинов. Структура, энтальпия образования, баллистическая эффективность, термостабильность // Тезисы XVI Всероссийского симпозиума по горению и взрыву. — Черноголовка: Институт проблем химической физики РАН, 2022. № 13. С. 56–57. https://elibrary.ru/download/elibrary_49435317_63114449.pdf.
8. *Sheremetev A. B., Yudin I. L.* Synthesis of unsubstituted 4Н,8Н-bisfurazano[3,4-*b*:3',4'-*e*]pyrazine // Mendeleev Commun., 1996. Vol. 6. P. 247–248. doi: 10.1070/MC1996v006n06ABEH000746.
9. *Starchenkov I. B., Andrianov V. G.* 4Н,8Н-bis(1,2,5-

*Работа выполнена по темам государственных заданий, номера госрегистрации АААА-А19-119120690042-9 и АААА-А19-119101690058-9.

¹Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, lempert@icp.ac.ru

²ФГУП СКТБ «Технолог», ddv65@bk.ru

- oxadiazolo)[3,4-*b*:3',4'-*e*]Pyrazine // Chem. Heterocyc. Compd, 1996. Vol. 32. P. 618. doi: 10.1007/BF01164797.
10. Лемперт Д. Б., Казаков А. И., Шереметев А. Б., Гладышкин А. Г., Набатова А. В., Яновский Л. С. Экспериментальное определение стандартной энтальпии образования 4Н,8Н-бис(фуразано)[3,4-*b*:3',4'-*e*]пиперазина и оценка его эффективности как диспергатора твердых топлив // Известия Академии наук. Серия химическая, 2019. № 10. С. 1856–1859.
 11. Иноземцев Я. О., Воробьев А. Б., Иноземцев А. В., Матюшин Ю. Н. Калориметрия энергоемких соединений // Горение и взрыв, 2014. № 7. С. 260–270.
 12. Лемперт Д. Б., Казаков А. И., Санников В. С. и др. Термохимические и энергетические характеристики DAzFF и AzNTF // Физика горения и взрыва, 2019. № 2. С. 29. doi: 10.15372/FGV20190203.
 13. Leonov N. E., Semenov S. E., Klenov M. S., et al. Novel energetic aminofurazans with a nitro-NNO-azoxy group // Mendeleev Commun., 2021. Vol. 31. P. 789–791. doi: 10.1016/j.mencom.2021.11.006.
 14. Кирпичев Е. П., Зюзин И. Н., Авдонин В. В., Рубцов Ю. И., Лемперт Д. Б. Стандартные энтальпии образования алкокси-NNO-азоксисоединений // Ж. физ. химии, 2006. Т. 80. № 9. С. 1543–1546.

Поступила в редакцию 24.01.2023