

# ОЦЕНКА МЕТАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ВЗРЫВЧАТЫХ КОМПОЗИЦИЙ, СОДЕРЖАЩИХ БИС-(2-ДИФТОРАМИНО-2,2-ДИНИТРОЭТИЛ)НИТРАМИН\*

М. Н. Махов<sup>1</sup>

**Аннотация:** Проанализированы возможности повышения метательной способности (МС) энергетических материалов за счет создания смесей взрывчатых веществ (ВВ) с положительным и отрицательным кислородным балансом (КБ). При расчетах в качестве основного ВВ с положительным КБ рассматривалось соединение БФАДЭН (бис-(2-дифторамино-2,2-динитроэтил)нитрамин), содержащее кислород и фтор в молекуле. Функцию ВВ-горючего выполняли мощные вещества с отрицательным КБ: октоген, СЛ-20 (2,4,6,8,10,12-гексанитро-2,4,6,8,10,12-гексаазаизовюрцитан) и ФТДО (5,6-(3',4'-фуразано)-1,2,3,4-тетразин-1,3-диоксид). Из расчетов следует, что МС указанных ВВ с отрицательным КБ заметно возрастет при добавлении к ним БФАДЭН. Дополнительного повышения МС следует ожидать при введении алюминиевой добавки в такие композиции. Метательная способность алюминизированных составов с БФАДЭН в этом случае может достигать рекордной величины 1,10 по отношению к октогену.

**Ключевые слова:** метательная способность; взрывчатое вещество; кислородный баланс; теплота взрыва; алюминий

DOI: 10.30826/CE25180413

EDN: THBEZO

## Литература

1. Физика взрыва / Под ред. Л. П. Орленко. — 3-е изд. — М.: Физматлит, 2002. Т. 1. 832 с.
2. Методы исследования свойств материалов при интенсивных динамических нагрузках / Под ред. М. В. Жерноклетова. — Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2003. 402 с.
3. *Hardesty D. R., Kennedy J. E.* Thermochemical estimation of explosive energy output // *Combust. Flame*, 1977. Vol. 28. P. 45–59.
4. *Hornberg H.* Determination of fume state parameters from expansion measurements of metal tubes // *Propell. Explos. Pyrot.*, 1986. Vol. 11. No. 1. P. 23–31.
5. *Finger M., Lee E., Helm F. H., Hayes B., Hornig H., McGuire R., Kahara M.* The effect of elemental composition on the detonation behavior of explosives // 6th Symposium (International) on Detonation Proceedings. — Coronado, CA, USA, 1976. P. 710–722.
6. *Gurney R. W.* The initial velocities of fragments from bombs, shells, grenades. — Aberdeen, MD, USA: Ballistic Research Laboratories, 1943. Report BRL 405. 13 p.
7. *Kamlet M. J., Finger M.* An alternative method for calculating gurney velocities // *Combust. Flame*, 1979. Vol. 34. P. 213–214.
8. *Koch A., N. Arnold, Estermann M.* A simple relation between the detonation velocity of an explosive and its gurney energy // *Propell. Explos. Pyrot.*, 2002. Vol. 27. No. 6. P. 365–368. doi: 10.1002/prep.200290007.
9. *Danel J.-F., Kazandjian L.* A few remarks about the gurney energy of condensed explosives // *Propell. Explos. Pyrot.*, 2004. Vol. 29. No. 5. P. 314–316. doi: 10.1002/prep.200400060.
10. *Махов М. Н., Гоголя М. Ф., Долгобородов А. Ю., Бражников М. А., Архипов В. И., Пепекин В. И.* Метательная способность и теплота взрывчатого разложения алюминизированных взрывчатых веществ // *Физика горения и взрыва*, 2004. Т. 40. № 4. С. 96–105.
11. *Гоголя М. Ф., Махов М. Н., Бражников М. А., Долгобородов А. Ю., Архипов В. И., Жигач А. Н., Лейпунский И. О., Кусков М. Л.* Взрывчатые характеристики алюминизированных нанокмпозитов на основе октогена // *Физика горения и взрыва*, 2008. Т. 44. № 2. С. 85–100.
12. *Давыдов В. Ю., Губин А. С.* О метательной способности взрывчатых веществ и их смесей с горючими добавками // *Хим. физика*, 2011. Т. 30. № 6. С. 49–56.
13. *Махов М. Н.* Метательная способность алюминий-содержащих взрывчатых композиций // *Хим. физика*, 2018. Т. 37. № 4. С. 51–58. doi: 10.7868/S0207401X18040064.
14. *Махов М. Н.* Разработка метода оценки метательной способности взрывчатых веществ на основе модели Гарни // *Горение и взрыв*, 2023. Т. 16. № 2. С. 110–116. doi: 10.30826/CE23160210.
15. *Махов М. Н., Архипов В. И.* К расчету скорости разлета оболочки // *Физика горения и взрыва*, 1989. № 3. С. 87–89.

\* Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований РФ «Химическая физика окисления, горения и взрыва», регистрационный № 1024040200065-4, и имела бюджетное финансирование.

<sup>1</sup> Федеральное исследовательское учреждение «Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук», mnm13makhov@yandex.ru

16. Литвинов Б. В., Файнзильберг А. А., Пепекин В. И., Смирнов С. П., Лобойко Б. Г., Шевелев С. А., Назин Г. М. Повышение эффективности высокоэнергетических химических веществ: высокоэнергетические соединения, содержащие в молекуле активный фтор и активный кислород // Докл. Акад. наук, 1994. Т. 336. № 1. С. 67–68.
17. Пепекин В. И., Корсунский Б. Л., Денисаев А. А. Возбуждение взрыва твердых взрывчатых веществ при механическом воздействии // Физика горения и взрыва, 2008. Т. 44. № 5. С. 101–105.
18. *Pepekin V. I.* Development of high efficiency energetic explosives // 27th Annual Conference (International) of ICT Proceedings. — Karlsruhe, 1996. Paper 19. 7 p.
19. Пепекин В. И., Губин С. А. Метательная способность органических взрывчатых веществ и их пределы по мощности и скорости детонации // Физика горения и взрыва, 2007. Т. 43. № 1. С. 99–111.
20. Архипов В. И., Махов М. Н., Пепекин В. И. О детонации смесевых взрывчатых систем типа окислитель–горючее // Хим. физика, 1993. Т. 12. № 12. С. 1640–1643.
21. Губин С. А., Одинцов В. В., Пепекин В. И., Шаргатов В. А. Влияние изменения состава продуктов детонации на скорость метания пластины // Хим. физика, 1990. Т. 9. № 5. С. 673–680.
22. *Ornellas D. L.* The heat and products of detonation of cyclotetramethylenetetranitramine, 2,4,6-trinitrotoluene, nitromethane, and bis(2,2-dinitro-2-fluoroethyl)formal // J. Phys. Chem., 1968. Vol. 72. No. 7. P. 2390–2394.
23. Энергетические конденсированные системы / Под ред. Б. П. Жукова. — 3-е изд. — М.: Янус-К, 2000. 596 с.
24. *Sympson R. L., Urtiew P. A., Ornellas D. L., Moody G. L., Scribner K. J., Hoffman D. M.* CL-20 performance exceeds that of HMX and its sensitivity is moderate // Propell. Explos. Pyrot., 1997. Vol. 22. No. 5. P. 249–255.
25. Пепекин В. И., Матюшин Ю. Н., Губина Т. В. Энтальпия образования и взрывчатые свойства фуразантетразиндиоксида // Хим. физика, 2011. Т. 30. № 2. С. 42–45.
26. *Mohammad K., Thaltiri V., Kommu N., Vargeese A. A.* Octanitropyrazolopyrazole: A gem-trinitromethylbased green high-density energetic oxidizer // Chem. Commun., 2020. Vol. 56. P. 12945–12948. doi: 10.1039/D0CC05704E.
27. Зюзин И. Н., Гудкова И. Ю., Лемперт Д. Б. Энергетические возможности некоторых окислителей с двумя N-тринитрометилазольными фрагментами в одной молекуле в качестве компонентов смесевых энергетических систем // Хим. физика, 2022. Т. 41. № 9. С. 45–54. doi: 10.31857/S0207401X2209014X.
28. *Иноземцев Я. О., Иноземцев А. В., Махов М. Н., Воробьев А. Б., Матюшин Ю. Н.* Расчет параметров детонации взрывчатого вещества ТКХ-50 // Хим. физика, 2021. Т. 40. № 12. С. 39–41. doi: 10.31857/S0207401X21120074.

Поступила в редакцию 19.06.2025

После доработки 14.08.2025

Принята к публикации 25.08.2025