

## АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ НОВЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ С НИЗКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

*А. А. Желтоножко, докт. техн. наук, В. Р. Закусило, канд. техн. наук  
(Шосткинский институт Сумского госуниверситета)*

*Виконано аналіз зарубіжних досліджень по розробленню нових потужних вибухових речовин з низькою чутливістю до механічних діянь, перспективних компонентів нового покоління промислових вибухових речовин для руйнування гірських порід.*

*Ключові слова: вибухові речовини, гексоген, октоген, імідазол, чутливість.*

*Выполнен анализ зарубежных исследований по разработке новых мощных взрывчатых веществ с низкой чувствительностью к механическим воздействиям, перспективных компонентов нового поколения промышленных взрывчатых веществ для разрушения горных пород.*

*Ключевые слова: взрывчатые вещества, гексоген, октоген, имидазол, чувствительность.*

*Foreign researches on development of new powerful explosives with low sensitivity to mechanical influences, perspective components of new generation of industrial explosives for destruction of rocks are analyzed.*

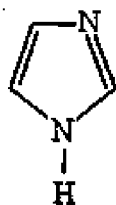
*Keywords: explosives, hexogen (RDX), octogene (NMX), imidazole, sensitivity.*

В ближайшие 10–20 лет в мире произойдут коренные изменения в технологиях производства высокоэнергетических материалов. В результате исследований, проведенных в данном направлении за рубежом [1–4], появилось большое количество новых материалов. В статье представлен краткий обзор по составам новых взрывчатых веществ (ВВ), разработанных за рубежом, которые в недалеком будущем станут основой новых промышленных взрывчатых веществ, используемых как для разрушения твердых горных пород, так и в качестве предохранительных ВВ для шахт, опасных по углю и пыли.

Традиционно используемые ВВ, такие как тротил, гексоген, октоген, нитроглицерин и др. имеют высокую чувствительность к механическим и другим видам воздействий. История их применения насчитывает около ста лет и связана с большим количеством несчастных случаев. Вопрос разработки новых ВВ, имеющих меньшую чувствительность к обычным воздействиям и более высокие энергетические характеристики, всегда был актуальным и остается таковым в настоящее время.

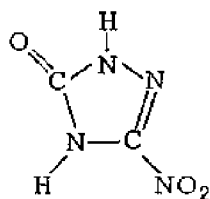
В этой связи необходимо остановиться на рассмотрении составов новых взрывчатых веществ, имеющих уникальные свойства, такие как низкую чувствительность к механическим воздействиям и способность выдерживать высокие температуры.

К ним следует отнести следующие составы.



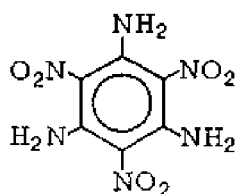
1. **1H имидазол** – пятичленное гетероциклическое соединение, содержащее атомы азота в своей структуре. Его производные, имеющие две и более нитрогруппы [5, 6], являются мощными взрывчатыми веществами с низкой чувствительностью. 2, 4-

динитроимидазол (2, 4-DNI) менее чувствителен к механическим воздействиям, чем гексоген и октоген, в то же время он на 10 % эффективнее с энергетической точки зрения [7].

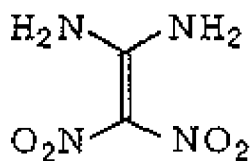


В настоящее время разработаны и другие нитропроизводные имидазола: 2, 4, 5-тринитроимидазол, 4, 4', 5, 5'-тетранитро-2,2'-диимидазол, а также нитропроизводные триазола (NTO) [8, 9, 10].

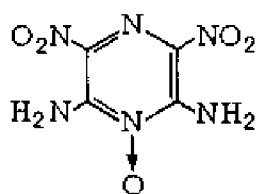
**2. Триаминотринитробензол (ТАТВ)** [8] – высокоэнергетическое термостойкое бризантное ВВ с низкой чувствительностью к удару и взрыву.



Разработка технологии производства ТАТВ и его производных – наиболее выдающееся достижение ученых и технологов в области специальной химии за последние 50 лет. Это ВВ отличается высокой термической, физической и ударной стабильностью, которая превосходит аналогичные характеристики известных бризантных ВВ. Уникальная структура определяет его свойства, в числе которых высокая плотность и низкая чувствительность к удару и взрыву. Введение аминогруппы позволяет увеличить энергию кристаллической решетки и повысить температуру плавления. В настоящее время в США разработан способ синтеза ТАТВ из пикриламида тринитробензола, что позволяет значительно уменьшить стоимость этого ВВ и осуществить его промышленное производство.



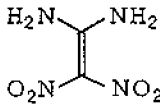
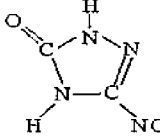
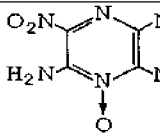
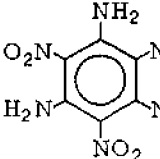
**3. 1,1-диамино-2,2-динитроэтилен (FOX-7).** Разработан в Швеции. Его чувствительность такая же низкая, как и у ТАТВ, а взрывчатые характеристики выше, чем у гексогена и октогена [9]. Это соединение имеет точно такое же соотношение между элементами, как у гексогена и октогена, которые в настоящее время являются одними из самых мощных ВВ и монотоплив. При полном разложении каждого из названных веществ до CO, N<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O образуется достаточно большое число молей газообразных продуктов (до 0,0405) в расчете на 1 грамм исходного вещества. Это основная величина, характеризующая взрывчатые вещества и топлива. Энергия активации FOX-7  $E_a \approx 58$  ккал/моль в интервале температур 210...250 °C выше, чем у гексогена ( $E_a \approx 40$  ккал/моль) и октогена ( $E_a \approx 35$  ккал/моль), что позволяет использовать его в качестве малочувствительного вещества. Чувствительность FOX-7 к удару, трению, нагреву и другим воздействиям уже достаточно изучена, и в ближайшем будущем он может заменить гексоген и октоген. В настоящее время FOX-7 уже синтезируется в масштабах опытного производства.



**4. 4,6-диамино-3,5-динитропирозин-1-оксид (LLM-105)** – перспективное бризантное ВВ с низкой чувствительностью, имеющее высокую плотность ( $\rho = 1,91$  г/см<sup>3</sup>) [10]. Синтезировано в США. С энергетической точки зрения LLM-105 на 20 % эффективнее, чем октоген. Это соединение нечувствительно к искровому разряду и трению. По чувствительности к удару приближается к ТАТВ.

Физико-химические свойства наиболее перспективных бризантных ВВ представлены в таблице.

Характеристики эффективности перспективных бризантных взрывчатых веществ с низкой чувствительностью

Название	Структура	$M_w$	КБ, %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta H_f$ , ккал/м	$T_m$ , °С	$D$ , м/с	$h_{50}$ %, см
FOX-7		148,079	-21,61	1,885	-32,0	254	9 090	126
NTO		130,1	-24,6	1,93	-28,0	270	8 564	93
LLM-105		216,1	-37	1,91	-3,1	354	8 560	117
TATB		258,2	-55,78	1,94	-33,4	330	8108	>177

Примечание.  $M_w$  – молекулярная масса,  $T_m$  – температура плавления,  $D$  – скорость детонации,  $h_{50}$  % – чувствительность к удару

Одной из последних новинок в области синтеза бризантных ВВ являются кубаны с высокой степенью нитрования. Октанитрокубан (ONC), содержащий восемь нитрогрупп, имеет плотность более 2 г/см<sup>3</sup> и теплоту образования, превышающую +400 кДж/моль [11]. При этом скорость детонации составит 10500...11800 м/с. Это самое мощное ВВ на сегодняшний день. Однако синтез октанитрокубана достаточно сложен и ученые многих лабораторий продолжают искать новые пути его синтеза, которые позволили бы производить его в промышленных масштабах.

В настоящем обзоре приведены краткие сведения по исследованиям, ведущимся в области разработки новых ВВ, промышленное производство которых будет организовано в ближайшем будущем. Кроме указанных составов, за рубежом (в США, России, Франции, Германии, Швеции и др.) большое внимание уделяется разработке новых перспективных высокоэнергетических материалов, в том числе окислителей, связующих, пластификаторов, твердых и жидких ракетных топлив и порохов.

Многие несчастные случаи в угольной промышленности связаны с применением промышленных ВВ на основе тротила, нитроглицерина и других бризантных ВВ, имеющих высокую чувствительность к механическим воздействиям. Поэтому за рубежом следует ожидать технического прорыва в производстве новых предохранительных ВВ, технологиях их производства и применения. Рассмотренные новые бризантные ВВ с низкой чувствитель-

ностью к тепловым и механическим воздействиям внесут революционный вклад в развитие нового поколения высокопредохранительных ВВ для шахт, опасных по газу и пыли. В первую очередь это относится к исключению чувствительного и высокотоксичного нитроглицерина, который может применяться только на местах изготовления.

Отсутствие в Украине научных школ по синтезу специальных химических веществ уже привело к отставанию в области разработки новых ВВ и технологий их производства. Если в ближайшее время такие школы не будут созданы, это отставание будет увеличиваться.

1. *Doherty R. M., Simpson R. L.* A comparative evaluation of several insensitive high explosives // Proc. 28th Intern. Annu. Conf. of ICT, Karlsruhe, Germany. – 1996. – P. 32/1 – 32/23.

2. *Jackson C. L., Wing J. F.* LIX on tribromotrinitrobenzol // Amer. Chem. J. – 1888. – V. 10. – P. 283–287.

3. *Mitchell A. R., Padoria P. F., Schmidt R. D.* Amination of electrophilic aromatic compounds by vicarious nucleophilic aromatic compounds by vicarious nucleophilic substitution. – US 069, 277. – May 30. – 2000.

4. *Pagoria P. F., Mitchell A. R., Schmidt R. D., Fried L. E.* Synthesis and scale-up of new explosives // Munitions Technology Development Programm, FY 1999 Report, II-5. – 1999.

5. *Cho S. G., Cheun Y. G., Park B.S.* Computational study of imidazole, 4-nitroimidazole, 5-nitroimidazole and 4, 5-dinitroimidazole // J. Mol. Struct.: Theochem. – 1998. – V. 432. – P. 41–53.

6. *Cho S. G., Park B. S., Cho I. R.* Theoretical studies on the structure of 1, 2, 4, 5-tetranitroimidazole // Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1999. – V. 24. – P. 343–348.

7. *Bracuti A. J.* Crystal structure of 2,4-dinitroimidazole (2,4 DNI) // J. Chem. Crystallogr. – 1995. – V. 25. – P. 625–627.

8. *US Patent 4,028,154.* Ammonium-2, 4, 5-trinitroimidazole / *Coburn M. D.* – June 7, 1977.

9. *Cromer D. T., Storm C. B.* Structure of 4,4', 5,5'-tetranitro-2,2'-biimidazole dehydrate // Acta Crystallogr. – 1990. – P. 1957–1958.

10. *Singh G., Kapoor I. P., Tiwari S. K., Felix P. S.* Studies on energetic compounds: Part 16. Chemistry and decomposition mechanisms of 5-nitro-2, 4-dihydro-3H-1, 2, 4-triazole-3-one (NTO) // J. Hazard / Mater. – 2001. – V. 81, N 1–2. – P. 67–82.

11. *Jackson C. L., Wing J. F.* LIX on tribromotrinitrobenzol // Amer. Chem. J. 1888. – V. 10. – P. 283–287.

12. *Ostmark H., Langlet A., Bergman H., et. al.* FOX-7-A new explosive with loss sensitivity and high performance // Proc. 11-th Intern. Detonation Symp., Colorado, USA, 1988. – P. 807.

13. *Tran D., Padoria P. F., Hoffman D. M., et. al.* Characterization of 2, 6-diamino-3, 5-dinitropyrazine-1-oxide (LLM-105) as an insensitive high explosive material // Proc. 33-zd Intern. Annu. Conf. of ICT, Karlsruhe, Germany, June 25–June 28, 2002. – P. 45/1–45/16.

14. *Zhang M.X., Eaton P.E., Gilardi R.* Heptaocanitrocubanes // Angew. Chem. Intern. Ed. 2000. – V. 39. – P. 401–404.