

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ КОМПОЗИЦИЙ ОКТОГЕН – ПРОИЗВОДНЫЕ НИТРОТРИАЗОЛА

М.В. Казутин<sup>1</sup>, Н.В. Козырев<sup>1</sup>, А.Г. Вакутин<sup>1</sup>, М.В. Комарова<sup>1</sup>, Г.Т. Суханов<sup>1</sup>,  
В.Н. Лепин<sup>2</sup>, С.В. Васильев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск

<sup>2</sup>АО «Научно-производственный концерн «Технологии машиностроения», г. Москва

Необходимость повышения безопасности эксплуатации боеприпасов приводит к смещению акцентов компоновки взрывчатых составов в сторону уменьшения рисков случайного взрыва, в том числе за счет снижения чувствительности к механическим воздействиям. В связи с этим задача замены тротила в литьевых взрывчатых композициях на менее чувствительные взрывчатые вещества является актуальной. В настоящей работе в качестве заменителей предлагается использовать производные нитротриазола, обладающие низкой чувствительностью к механическим воздействиям и приемлемыми технологическими свойствами.

Приводятся результаты практических и численных исследований свойств литьевых взрывчатых составов, содержащих октоген, тротил, 1-метил-3-нитро-1,2,4-триазол, третбутил-3-нитро-1,2,4-триазол и этоксиметил-3-нитро-1,2,4-триазол. Экспериментально доказано преимущество использования 1-метил-3-нитро-1,2,4-триазола вместо тротила в составах типа «октол». Представлен сравнительный анализ энергетических характеристик композиций октоген – производные нитротриазола.

*Ключевые слова:* литьевые взрывчатые вещества, тротил, производные 3-нитро-1,2,4-триазола.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во всем мире при конструировании боеприпасов большое внимание уделяют безопасности эксплуатации, в ряде случаев в ущерб поражающему действию. Развиваемая в странах НАТО с 80-х годов XX века концепция малоуязвимых боеприпасов (в США – Low Vulnerability Ammunition (LOVA) – т. е. «боеприпасы низкой уязвимости»; или Insensitive Munitions – букв. «нечувствительные боеприпасы» [1]) выразилась, в том числе, в разработке взрывчатых составов, обладающих сниженным риском случайной детонации при пожаре, пулевым и осколочном пробитии, воздействии ударной волны, кумулятивной струи и т.п.

Литьевые композиции тротил-гексоген (ТГ, «Composition В»), массово использовавшиеся для снаряжения боеприпасов на протяжении последних восьми десятилетий, не удовлетворяют современным критериям безопасности. В качестве замены гексогена предложены: (ТАТБ), нитротриазолон (НТО), нитрогуанидин, другие низкочувствительные взрывчатые вещества и их смеси с традиционными гексогеном и октогеном [2]. В качестве литьевой основы, заменяющей тротил (ТНТ), часто используется динитроанизол (ДНАН) – взрывчатое вещество с крайне низкой чувствительностью и слабыми взрывчатыми свойствами. По плотности и теплоте взрыва ДНАН значительно уступает тротилу, приводит к снижению взрывчатых характеристик современных малочувствительных литьевых композиций по сравнению со сплавами тротил-гексоген [3-4].

Поисковые экспериментальные и расчетные данные показывают, что некоторые производные 3-нитро-1,2,4-триазола (нитротриазола) обладают чувствительностью к механическим воздействиям на уровне ДНАН, но существенно превосходят его по энергетическим показателям и сравнимы с ТНТ. Следовательно, использование плавких производных нитротриазола в качестве литьевой основы гетерогенных взрывчатых композиций должно снижать их чувствительность без потери энергомассовых характеристик.

В настоящей работе исследованы взрывчатые характеристики литьевых составов на основе плавких производных нитротриазола, наполненных октогеном.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве плавкой основы взрывчатых композиций литьевого типа применялись синтезированные в лабораторных условиях согласно методам [5–7] следующие производные нитротриазола: 1-метил-3-нитро-1,2,4-триазол (Me3H), третбутил-3-нитро-1,2,4-триазол (tBu3H) и этоксиметил-3-нитро-1,2,4-триазол (ЭОМ). В зарядах использовались тротил и октоген промышленного производства.

Температуры плавления и химическую совместимость октогена с производными нитротриазола определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрии (метод DSC) на термомоанализаторе DSC822<sup>o</sup> («Mettler Toledo») в режиме линейного нагрева образцов со скоростью 10 °С/мин. от 25 °С до 350 °С при продувке измерительной ячейки азотом.

Плотность веществ Me3H, ЭОМ и tBu3H определяли методом гелиевой пикнометрии на приборе Ас-

cuРус II 1340 («Micrometric Instruments Corporation») при температуре  $20 \pm 1$  °С.

Термодинамические расчеты выполнены с использованием программного комплекса REAL [8-9]. Максимальная теплота взрыва  $Q_{max}$  вычислялась по методике, описанной в [10], скорость детонации  $D$  – по методу [11], энтальпия  $\Delta H_f$  – по методу [12].

Образцы составов изготавливали смешением порошка октогена с плавкой основой при температуре, превышающей температуру плавления.

Для исследования чувствительности к механическим воздействиям использовались стандартизованные методики [13-14] и специальное оборудование: копры К-44-II и К-44-III.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ОБСУЖДЕНИЕ**

В табл. 1 представлены свойства плавких веществ ТНТ и ДНАН. Данные частично получены из литературных источников [3-4, 15-19], либо рассчитаны с помощью программного комплекса REAL. В табл. 2 приведены свойства производных нитротриазола. Энтальпия образования ( $\Delta H_f$ ) рассчитана с привлечением данных, представленных в [12]. Максимальная теплота взрыва  $Q_{max}$  рассчитывалась в предположении образования продуктов:  $CO_2$ ,  $H_2O$  (газ),  $C$ ,  $N_2$ .

**Табл. 1. Свойства ТНТ и ДНАН**

Характеристика	Плавкое вещество	
	ТНТ	ДНАН
Брутто-формула	$C_7H_5N_3O_6$	$C_7H_6N_2O_5$
Молярная масса, г/моль	227,1	198,1
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,654	1,336
Темп. плавления, °С	80,7	94,5
$\Delta H_f$ , кДж/кг	-261,6	-937,8
$Q_{max}$ , кДж/кг	5432*	4710*
Скорость детонации, м/с (при плотности, г/см <sup>3</sup> )	6900** (1,600)	5600** (1,336)

**Табл. 2. Свойства производных нитротриазола**

Характеристика	Плавкое вещество		
	Me3H	ЭОМ	tBu3H
Брутто-формула	$C_3H_4N_4O_2$	$C_5H_8N_4O_3$	$C_6H_{10}N_4O_2$
Молярная масса, г/моль	128,1	172,1	170,2
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,503	1,428	1,274
Темп. плавления, °С	65±1	56±1	92±2
$\Delta H_f$ , кДж/кг	1625,1	201,5	807,9
$Q_{max}$ , кДж/кг	5400*	4416*	3650*
Скорость детонации, м/с (при плотности, г/см <sup>3</sup> )	6985** (1,480)	6475** (1,428)	5637** (1,274)

\*Величины рассчитаны с использованием REAL [8-10]

\*\*Величины рассчитаны по методу [11]

Согласно данным табл. 1 и табл. 2 энергетический потенциал Me3H примерно соответствует тротилу; ЭОМ по расчетной теплоте взрыва незначительно уступает ДНАН, но превосходит его по плотности и скорости детонации; tBu3H уступает ДНАН по всем параметрам.

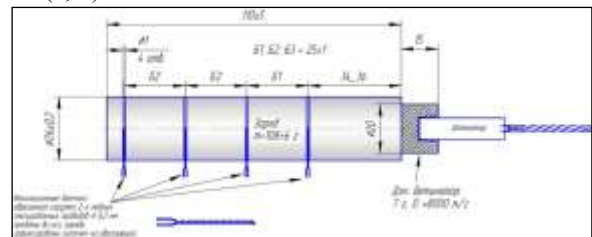
Из представленных в табл. 2 производных нитротриазола наибольшими энергомассовыми характеристиками обладает Me3H, который выбран для экспериментальной оценки взрывчатых свойств в литевой

системе, наполненной октогеном. Составом сравнения служил «октол» (октоген /ТНТ 65/35 %).

Массовое содержание производных нитротриазолов в композициях с октогеном выбиралось таким образом, чтобы объемная доля октогена соответствовала составу октоген/ТНТ 65/35 %. Теоретическая плотность  $\rho_{т}$  рассчитывалась по аддитивному принципу на основе массовых долей и плотностей компонентов.

Для оценки взрывчатых свойств литевым способом изготавливали по два заряда рецептур октоген/ТНТ 65/35 и октоген/Me3H 68/32. В обогреваемую изложницу помещали расчетную навеску плавкой основы и нагревали до температуры, превышающей на ~ 5 °С температуру её плавления. В расплав вмешивали порошок октогена. После выдержки в течение 5 – 10 минут полученную суспензию при непрерывном перемешивании сливали порциями по 5 – 7 г в разъемную полипропиленовую оснастку с внутренним диаметром 26 мм с «каналообразователями» – полимерными стержнями, формирующими в заряде поперечные каналы диаметром около 1 мм для установки ионизационных датчиков. Каждая порция выдерживалась до частичной кристаллизации по периферии, после чего сливалась следующая и далее, до формирования заряда массой 110 г. После охлаждения до комнатной температуры заряд освобождался от оснастки. Фактическая плотность  $\rho_{ф}$  определялась гидростатическим взвешиванием на весах с погрешностью  $\pm 1$  мг. Величины фактической и расчетной плотностей перечислены в табл. 3.

Схема и фотография готового заряда приведены на рис. 1 (а, б).



**Рис. 1. Схема заряда (а), готовый заряд (б)**

Скорость детонации  $D$  измерялась на трех базах длиной около 25 мм, расстояние от плоскости инициирования до первой базы 34 – 46 мм. Было получено шесть значений скорости для каждого из составов, в табл. 3 представлена средняя величина. Расчетные величины скорости  $D$  также приведены в табл. 3.

Образцы составов после измельчения до прохода через сито с размером ячеек 0,1 мм испытывались на чувствительность к удару (определялся нижний предел при сбросе груза массой 10 кг, *НПу*, мм) и трению (определялся нижний предел, *НПтр*, кгс/см<sup>2</sup>). Результаты представлены в табл. 4.

Табл. 3. Свойства октогеннаполненных литьевых ВВ

Состав композиции	$\rho_t$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_f$ , г/см <sup>3</sup>	<i>D</i> , м/с	
			расч.	эксп.
октоген/ТНТ 65/35	1,81	1,77	8274 8109*	7956±100
октоген/МеЗН 68/32	1,76	1,74	8330 8257*	8102±40
октоген/tBuЗН 71,2/28,8	1,67	-	7890	не исп.
октоген/ЭОМ 68,5/31,5	1,73	-	8104	не исп.

\*Расчетная величина скорости детонации, соответствует фактической плотности изготовленных зарядов.

Табл. 4. Чувствительность октогеннаполненных литьевых ВВ

Состав композиции	<i>НПу</i> , мм	<i>НПтр</i> , кгс/см <sup>2</sup>
октоген/ТНТ 65/35	70	5000
октоген/МеЗН 68/32	150	6000
октоген/tBuЗН 71,2/28,8	150	6500
октоген/ЭОМ 68,5/31,5	250	7500

Данные, представленные в табл. 4, подтверждают снижение чувствительности сплавов типа «октол» при замене тротила на плавкие производные нитротриазола.

Все исследованные составы обладают литьевыми свойствами, кроме того замена ТНТ на производные нитротриазола позволяет увеличить содержание наполнителя (в данном исследовании – октогена).

Следует отметить, что экспериментальные значения скорости детонации *D* практически соответствует расчетным (расхождение не превышает 2 %). Это свидетельствует о детонации изученных составов в режиме, близком к идеальному. Ориентируясь на экспериментальные значения *D* составов октоген/ТНТ 65/35 и октоген/МеЗН 68/32 можно предполагать, что скорости детонации составов октоген/tBuЗН и октоген/ЭОМ будут соответственно не ниже значений 7500 м/с и 7800 м/с.

Использование ЭОМ в качестве плавкой основы в наибольшей степени снижает чувствительность октогеннаполненной композиции. Значения плотности и скорости детонации последней несколько ниже по сравнению с составом октоген/МеЗН 68/32, однако могут быть повышены за счет корректировки соотношения наполнитель/плавкая основа.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В качестве перспективной плавкой основы для замены тротила в литьевых взрывчатых веществах исследованы производные нитротриазола: МеЗН, tBuЗН и ЭОМ. Литьевым способом изготовлены образцы составов, содержащих октоген. В качестве состава сравнения исследован октол, содержащий 65 % октогена. Экспериментально показано, что замена тротила на производные нитротриазола резко снижает чув-

ствительность композиций. Наилучшие результаты достигаются при использовании ЭОМ: нижний предел чувствительности к удару состава ЭОМ/октоген 31,5/68,5 составляет 250 мм, к трению – 7500 кгс/см<sup>2</sup>, тогда как для октола – соответственно, 70 мм и 5000 кгс/см<sup>2</sup>. Выполненные эксперименты позволяют ожидать скорости детонации для состава октоген/ЭОМ не менее 7800 м/с при плотности 1,73 г/см<sup>3</sup>, что сравнимо с октолом (~8000 м/с при плотности 1,77 г/см<sup>3</sup>). Экспериментальные взрывчатые характеристики состава октоген/МеЗН 68/32 (8100 м/с при плотности 1,74 г/см<sup>3</sup>) превосходят октол, при этом чувствительность заметно снижена по сравнению с последним.

Таким образом, опираясь на результаты вышеизложенных исследований, правомерно сделать вывод о перспективности использования производных нитротриазола в качестве плавкой основы малочувствительных взрывчатых композиций литьевого типа.

Работа выполнена в рамках проекта № 0385-2019-0011 при использовании приборной базы Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. AOP-39. Guidance on the Assessment and Development of Insensitive Munitions. Edition 3. – NATO STANDARDIZATION AGENCY (NSA) – May 2010.
2. Жилин, В.Ф. Малочувствительные взрывчатые вещества / В.Ф. Жилин, В.Л. Збарский, Н.В. Юдин – М.: ПХТУ им. Д. И. Менделеева, 2008. – 160 с.
3. Xing, X., Zhao, F., Ma, S., Xu, K., Xiao, L., et al. "Specific heat capacity, thermal behavior, and thermal hazard of 2,4-dinitroanisole", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, vol. 37, no. 2, pp. 179–182, 2012.
4. Provatas, A., Davies, P. Characterization of 2,4-dinitroanisole: An ingredient for use in low sensitivity melt cast formulations // Report DSTO-TR-1904. Edinburgh South Australia, Australia, 2006. – 24 p.
5. Sukhanov, G.T., Lukin, A.Yu., "Reaction of 3-nitro-1,2,4-triazoles with alkylating agents. 1. Alkylation in the presence of alkali", *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, vol. 41, no. 7, pp. 861–865, 2005.
6. Sukhanova, A.G., Sakovich, G.V., Sukhanov, G.T., "Reaction of 3-nitro-1,2,4-triazoles with alkylating agents. 6. Alkylation of a neutral heterocycle by alcohols in acid media", *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, vol. 44, no. 11, pp. 1368–1373, 2008.
7. Суханов, Г.Т. Синтез простых и смешанных эфиров гетероциклических и алифатических спиртов / Г.Т. Суханов, Е.В. Пивоварова, Т.А. Диго, Ю.В. Филиппова, А.Г. Суханова, К.К. Босов // Южно-сибирский научный вестник. – 2018. – № 4. – С. 303 – 306.
8. Белов, Г.В. Термодинамическое моделирование / Г.В. Белов. – М.: Научный мир, 2002. – 184 с.
9. Белов, Г.В. REAL. Программный комплекс для моделирования равновесных состояний термодинамических систем при повышенных значениях температуры и давления. Руководство пользователя / Г.В. Белов. – М.: Научный мир, 2013. – 24 с.
10. Дубнов, Л.В. Промышленные взрывчатые вещества /Л.В. Дубнов, Н.С. Бахаревич, А.И. Романов – М.: Недра, 1988. – 359 с.
11. Kamlet, M.J., Hurwitz, H., "Chemistry of detonation. IV. Evaluation of a simple prediction methods for detonation velocities of C-H-N-O explosives", *The Journal of Chemical Physics*, vol. 48, no. 8, pp. 3685–3692, 1968.
12. Joback, K.G., Reid, R. C., "Estimation of pure-component properties from group-contributions", *Chemical Engineering Communications*, vol. 57, no. 1-6, pp. 233–243, 1987.

13. ГОСТ РФ 4545-88 Вещества взрывчатые бризантные. Методы определения характеристик чувствительности к удару / М.: Издательство стандартов, 1988. – 17 с.

14. ГОСТ Р 50835-95 Вещества взрывчатые бризантные. Методы определения характеристик чувствительности к трению при ударном сдвиге / М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 13 с.

15. Dobratz, В.М., Rrawford, P.C. *LLNL Explosives Handbook – Properties of Chemical Explosives and Explosives Simulation*, USA, University of California, 1985. – 525 p.

16. Meyer, R., Kohler, J., Homburg, *Explosives: Sixth Edition*, Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, 2007. – 474 p.

17. TM-9-1300-14. *Military Explosives*, Department of the Army Technical Manual, no. 4, 1990.; Headquarters, Department of The Army, 1984.

18. *IST Database of Thermochemical Values. P. O. Box 1240, D-76318Pfnzthal, Germany, Karlsruhe*, 1999.

19. Ravi, P., Badgujar, D. M., Gore, G. M., et al. “Review on melt cast explosives”, *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, vol. 36, no. 5, pp. 393–403, 2011.

*Казутин Максим Владимирович – к.т.н., с.н.с. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), тел. (3854)301433, e-mail: iphet@rambler.ru*

*Козырев Николай Владимирович – д.т.н., заведующий лабораторией физико-химических основ создания энергетических конденсированных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), тел.: (3854)305805, e-mail: kozurev@ircet.ru*

*Вакутин Алексей Геннадьевич – к.т.н., н.с. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), тел. (3854)301671, e-mail: alex-wakutin@mail.ru*

*Комарова Марина Витальевна – к.ф.-м.н., н.с. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), тел. (3854)301866, e-mail: mv10mv@mail.ru*

*Суханов Геннадий Тимофеевич – д.х.н., заведующий лабораторией химии и технологии высокоэнергетических азолов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), тел.: (3854)301845, e-mail: ircet@mail.ru*

*Лепин Владимир Николаевич – д.т.н., генеральный директор Акционерного Общества «Научно – производственный концерн*

*«Технологии машиностроения» (АО «НПК «Техмаш»), тел.: (495)4599905, e-mail: info@tecmash.ru*

*Васильев Сергей Валентинович – д.т.н., председатель НТС Акционерного Общества «Научно – производственный концерн «Технологии машиностроения» (АО «НПК «Техмаш»), тел.: (495)4599881, e-mail: info@tecmash.ru*

# STUDY OF EXPLOSIVE COMPOSITIONS OCTOGEN – DERIVATIVES OF NITROTRIAZOLE

M.V. Kazutin<sup>1</sup>, N.V. Kozyrev<sup>1</sup>, A.G. Vakutin<sup>1</sup>, M.V. Komarova<sup>1</sup>, G.T. Sukhanov<sup>1</sup>,  
V.N. Lepin<sup>2</sup>, S.V. Vasilev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk

<sup>2</sup>JSC "Scientific-Production Concern", Moscow

The safety of military munitions requires reducing the risk of accidental explosion, including by reducing mechanical sensitivity. This task for the injection of explosives is to replace trotyl. It is necessary to use less sensitive than trotyl explosives. In this paper, it is proposed to use nitroimidazole derivatives with low sensitivity to mechanical stress and acceptable technological properties as substitutes.

The results of practical and numerical studies of the properties of casting explosives containing oktogen, trotyl, 1-methyl-3-nitro-1,2,4-triazole, tert-butyl-3-nitro-1,2,4-triazole and ethoxymethyl-3-nitro-1,2,4-triazole are presented. The advantage of using 1-methyl-3-nitro-1,2,4-triazole instead of trotyl in «octol»-type compounds was experimentally proved. A comparative analysis of the energy characteristics of the compositions of octogen – nitrotriazole derivatives is presented.

*Key words: casting explosives, trotyl, derivatives of 3-nitro-1,2,4-triazole.*

## REFERENCES

1. AOP-39. Guidance on the Assessment and Development of Insensitive Munitions. Edition 3. – NATO STANDARDIZATION AGENCY (NSA) – May 2010.
2. Zhilin, V. F. low-sensitive explosives / V. F. Zhilin, V. L. Zbarskii, N. In. Yudin – Moscow: Publishing house D. Mendeleev UCTR, 2008. – 160 p.
3. Xing, X., Zhao, F., Ma, S., Xu, K., Xiao, L., et al. "Specific heat capacity, thermal behavior, and thermal hazard of 2,4-dinitroanisole", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, vol. 37, no. 2, pp. 179–182, 2012.
4. Provatas, A., Davies, P. Characterization of 2,4-dinitroanisole: An ingredient for use in low sensitivity melt cast formulations // Report DSTO-TR-1904. Edinburgh South Australia, Australia, 2006. – 24 p.
5. Sukhanov, G.T., Lukin, A.Yu., "Reaction of 3-nitro-1,2,4-triazoles with alkylating agents. 1. Alkylation in the presence of alkali", *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, vol. 41, no. 7, pp. 861–865, 2005.
6. Sukhanova, A.G., Sakovich, G.V., Sukhanov, G.T., "Reaction of 3-nitro-1,2,4-triazoles with alkylating agents. 6. Alkylation of a neutral heterocycle by alcohols in acid media", *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, vol. 44, no. 11, pp. 1368–1373, 2008.
7. Sukhanov, G.T. Synthesis of simple mixed ethers of heterocyclic and aliphatic alcohols / G.T. Sukhanov, E.V. Pivovarova, T.A. Digo, Yu.V. Filippova, A.G. Sukhanova, K.K. Bosov // South-Siberian Scientific. – 2018. – № 4. – pp. 303 – 306.
8. Belov, G. V. Thermodynamic modeling / G. V. Belov. – Moscow: Scientific world, 2002. – 184 p.
9. Belov, G. V. REAL. Software package for modeling the equilibrium States of thermodynamic systems at elevated temperatures and pressures. User manual / G. V. Belov. – Moscow: Scientific world, 2013. – 24 p.
10. Dubnov, L. V. Industrial explosives / L. V. Dubnov, N. S. Bakharevich, A. I. Romanov – M.: Nedra, 1988. – 359 p.
11. Kamlet, M.J., Hurwitz, H., "Chemistry of detonation. IV. Evaluation of a simple prediction methods for detonation velocities of C-H-N-O explosives", *The Journal of Chemical Physics*, vol. 48, no. 8, pp. 3685–3692, 1968.
12. Joback, K.G., Reid, R. C., "Estimation of pure-component properties from group-contributions", *Chemical Engineering Communications*, vol. 57, no. 1-6, pp. 233–243, 1987.
13. GOST RF 4545-88 Explosives blasting. Methods to determine the characteristics of sensitivity to impact / Moscow: Publishing house of standards, 1988. – 17 p.
14. GOST R 50835-95 Explosives blasting. Methods for determining the characteristics of the sensitivity to friction in the shock shift / Moscow: IPK Publishing standards, 1996. – 13 p.
15. Dobratz, B.M., Rrawford, P.C. *LLNL Explosives Handbook – Properties of Chemical Explosives and Explosives Simulation*, USA, University of California, 1985. – 525 p.
16. Meyer, R., Kohler, J., Homburg, *Explosives: Sixth Edition*, Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, 2007. – 474 p.
17. TM-9-1300-14. *Military Explosives*, Department of the Army Technical Manual, no. 4, 1990.; Headquarters, Department of The Army, 1984.
18. *IST Database of Thermochemical Values*. P. O. Box 1240, D-76318Pfnzthal, Germany, Karlsruhe, 1999.
19. Ravi, P., Badgular, D. M., Gore, G. M., et al. "Review on melt cast explosives", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, vol. 36, no. 5, pp. 393–403, 2011.

*Kazutin Maxim Vladimirovich – Candidate of Engineering Sciences and staff scientist, Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk, tel.: (3854)301433, e-mail: ipcet@rambler.ru.*

*Kozyrev Nikolai Vladimirovich – Head of Laboratory of Physicochemical Bases of Energetic Condensed Systems, Dr. (Engin.), Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk, tel.: (3854)305805, e-mail: kozyrev@ipcet.ru*

*Vakutin Alexei Gennadevich – Candidate of Engineering Sciences and staff scientist, Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk, tel.: (3854)301671, e-mail: alex-wakutin@mail.ru*

*Komarova Marina Vitalyevna – Candidate of Physics and Mathematics Sciences and staff scientist, Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk, tel.: (3854)301866, e-mail: mv10mv@mail.ru*

*Suhanov Gennadiy Timofeevich – Head of Laboratory of Chemistry and Technology of High-Energy Azoles, Dr. (Chem.), Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), tel.: (3854)301976, e-mail: ipcet@mail.ru.*

*Lepin Vladimir Nikolaevich – Dr. (Engin.), Director General of JSC "Scientific-Production Concern" company, Moscow, tel.: (495)4599905, e-mail: info@tecmash.ru*

*Vasilev Sergei Valentinovich – Dr. (Engin.), Chairman of the Scientific and Technical Council of JSC "Scientific-Production Concern" company, Moscow, tel.: (495)4599881, e-mail: info@tecmash.ru*