

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ПЛАВКИХ ДОБАВОК В КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ СИСТЕМАХ

М.В. Комарова, А.Г. Вакутин, М.В. Казутин, Н.В. Козырев, Г.Т. Суханов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск

Проблемы безопасности производства и эксплуатации мощных литевых композиционных взрывчатых систем требуют замены традиционных плавких связующих – тротила и динитразапентана менее чувствительными высокоэнергетическими материалами. В качестве таких добавок можно использовать малочувствительные производные 3-нитро-1,2,4-триазола (1-,2-метил-, третбутил-, этоксиметил-) и их эвтектические сплавы с динитрофуразанилфуроксаном.

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии (DSC) проведены исследования взрывчатых композиций, содержащих октоген, гексанитрогексаазаизовюрцитан, нитротриазолон, триаминотринитробензол и плавкие связующие добавки на основе производных нитротриазола. Показано, что для композиционных взрывчатых систем с октогеном предпочтительными являются этоксиметил-3-нитро-1,2,4-триазол и его эвтектический сплав динитрофуразанилфуроксаном (соотношение 80/20); для гексанитрогексаазаизовюрцитана – 1-метил-3-нитро-1,2,4-триазол и его эвтектический сплав с динитрофуразанилфуроксаном (80/20).

*Ключевые слова:* взрывчатые вещества, производные нитротриазола, плавкие связующие добавки.

### ВВЕДЕНИЕ

Во взрывчатых композициях, получаемых методом литья, кроме кристаллического наполнителя (октогена, гексогена, аммиачной селитры, гексанитрогексаазаизовюрцитана и т. п.) применяются плавкие связующие добавки. Традиционными добавками являются тротил (ТНТ) и динитразапентан (ДНП), уровень механической чувствительности которых считается приемлемым, но недостаточным для конструирования взрывчатых материалов с пониженной чувствительностью и повышенной мощностью. Поэтому, проблемы безопасности производства, хранения, переработки и эксплуатации литевых композиционных взрывчатых систем (ЛКВС) требуют замены традиционных плавких связующих – тротила и динитразапентана на менее чувствительные компоненты [1]. Непосредственное использование мощных индивидуальных взрывчатых веществ, таких как октоген (НМХ), динитрофуразанилфуроксан (НФФ) и гексанитрогексаазаизовюрцитан (CL-20) повышает общую чувствительность ЛКВС и, следовательно, актуализирует необходимость расширения компонентной базы малочувствительных добавок.

По данным [2], чувствительность тротила к удару составляет от 4 % до 8 % при высоте 250 мм и массе груза 10 кг. Для ДНП этот показатель выше (5 % ÷ 10 %) [3]. В работах [4, 5] показано, что производные нитротриазола (1-метил-3-нитротриазол, 2-метил-3-нитротриазол, этоксиметил-3-нитротриазол и третбутил-3-нитротриазол) имеют весьма низкую чувствительность к механическим воздействиям (к удару 0 % при высоте более 500 мм при массе сбрасываемого груза 10 кг, к трению 980,7 МПа) и по стандартизированной

оценкам [6, 7], эти вещества являются практически инертными.

Производные нитротриазола (кроме третбутил-3-нитротриазола) имеют температуру плавления достаточную для технологической переработки (от 56 °С до 81 °С) [4, 5]. Так, например, 1-метил-3-нитротриазол по ряду характеристик (плотность, кислородный баланс, скорость детонации) близок к ТНТ, но имеет более низкую температуру плавления (65 °С) и чувствительность к механическим воздействиям. Уровень чувствительности настолько низок, что позволяет улучшить энергетику производных нитротриазола введением динитрофуразанилфуроксана. НФФ плавится при температуре 107 °С ÷ 111 °С [8, 9] и может образовывать эвтектики с другими высокоэнергетическими веществами, в том числе с ТНТ [5]. Эвтектические сплавы тротила с динитрофуразанилфуроксаном имеют улучшенные энергетические и технологические характеристики по сравнению с ТНТ, более низкую чувствительность к удару и трению, чем НФФ [9]. Следовательно, заменяя тротил и динитразапентан на производные нитротриазола, либо их эвтектические сплавы с НФФ, можно улучшить свойства композиционных взрывчатых систем без ущерба для безопасности.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований методом дифференциальной сканирующей калориметрии литевых композиционных взрывчатых систем с плавкими связующими на основе производных нитротриазола.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для приготовления плавких связующих добавок использовались производные нитротриазола, полу-

ченные в условиях лабораторного синтеза. 1-Метил-3-нитро-1,2,4-триазол (MeЗН) и 2-метил-3-нитро-1,2,4-триазол (2MeЗН) получены алкилированием 3-нитро-1,2,4-триазола йодистым метилом и диметилсульфатом в присутствии щелочи [10]. Синтез эфира этокси-метил-3-нитро-1,2,4-триазола (ЭОМ) основан на взаимодействии соответствующего гетероциклического и алифатического спиртов в условиях кислотного катализа. Третбутил-3-нитро-1,2,4-триазол (tBuЗН) получен алкилированием 3-нитро-1,2,4-триазола третбутиловым спиртом в присутствии каталитических количеств серной кислоты [11, 12]. Все указанные производные нитротриазола при н.у. являются твердыми веществами с температурой плавления ниже 94 °С (рис. 1).

В качестве дополнительного компонента плавких связующих добавок использовалось мощное взрывчатое вещество НФФ также полученное в лабораторных условиях.

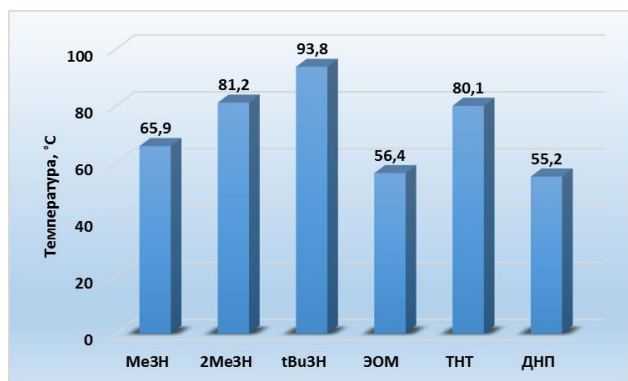


Рис. 1. Температуры плавления исходных компонентов ЛКВС

Кроме перечисленных выше веществ в экспериментах использовались: ТНТ, ДНП, НМХ, CL-20, нитротриазолон (НТО), триаминотринитробензол (ТАТБ).

Плавкие двухкомпонентные связующие добавки приготавливали простым механическим смешиванием измельченных производных нитротриазола, ДНП, ТНТ с кристаллами НФФ. Полученную смесь нагревали до перехода в жидкое состояние, затем добавляли кристаллический наполнитель (НМХ, CL-20, НТО, ТАТБ) и охлаждали [5]. Готовые ЛКВС состояли из 50 % кристаллического наполнителя и 50 % плавкой добавки. Содержание компонентов в двухкомпонентных плавких связующих добавках варьировалось от 20 % до 80 %.

Для прогнозирования свойств ЛКВС и их компонентов использовался метод дифференциальной сканирующей калориметрии (метод DSC). Эксперименты проводились в измерительных ячейках термоанализаторов «DSC822» и «HPDSC1» в инертной среде азота. Образцы массой 0,7 мг ÷ 3,5 мг размещались в стандартных алюминиевых тиглях с проколотыми крышками. Скорость изменения температуры состав-

ляла 10 °С/мин. при нагреве до 125 °С и 20 °С/мин. при нагреве до 350 °С ÷ 450 °С. Результаты экспериментов обрабатывались в программной среде «STAR° Software v 14.00».

Химическую стабильность компонентов ЛКВС определяли по ампульно-хроматографической методике [13, 14]. Использовался газовый хроматограф «Кристалл-2000М». Определение стабильности происходило следующим образом: 2 г ÷ 3 г вещества размещается в отвакуумированную запаянную ампулу с последующим термостатированием при температуре 80 °С в течение 24 часов. Затем ампулу вскрывали, образовавшиеся газообразные продукты подвергали количественному и качественному анализу. Данное исследование показало, что газовыделение для производных нитротриазола не превышало 0,08 см<sup>3</sup>/г ÷ 0,1 см<sup>3</sup>/г, что позволяет характеризовать эти вещества как стабильные. Этот метод применялся также для прогнозирования химической совместимости MeЗН, tBuЗН и ЭОМ с октогеном.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Чувствительность высокоэнергетических материалов является одной из важнейших характеристик, поскольку определяет степень безопасности производства и эксплуатации взрывчатых композиций. НТО и ТАТБ обладают более низкой механической чувствительностью по сравнению с октогеном и гексанитрогексаазаизовюрцитаном (нижний предел к трению 7500 кгс/см<sup>2</sup>, > 7500 кгс/см<sup>2</sup>, 2000 кгс/см<sup>2</sup> и 1200 кгс/см<sup>2</sup> соответственно [2, 15]), что позволяет использовать для этих наполнителей связующую добавку с большим содержанием НФФ.

Кроме чувствительности, необходимо знать другие базовые характеристики исходных компонентов. Большое значение имеет температура плавления связующей добавки, так как от неё зависит процесс изготовления и хранения готового взрывчатого состава. По мнению исследователей [9] температура плавления должна находиться в интервале температур 80 °С ÷ 100 °С, наш опыт показывает, что достаточно 50 °С ÷ 60 °С. Температуры плавления производных нитротриазола соответствуют этим интервалам [4, 5].

Согласно гистограмме (рис.1), температура плавления 2MeЗН близка к температуре плавления тротила, температура плавления ЭОМ близка к температуре плавления динитрозапентана. Вещество tBuЗН является более тугоплавким, чем традиционные связующие добавки ТНТ и ДНП. Реагент MeЗН представляет собой «средний» вариант с  $T_n = 65,9$  °С. Для НФФ температура плавления составила 110,3 °С, что соответствует данным других источников [8, 9]. Таким образом производные нитротриазола уже достаточно технологичны сами по себе, а все двухкомпонентные эвтектические сплавы с динитрофуразанилфуроксаном (80 %) будут переходить в жидкое состояние при температуре ниже 100 °С. Корректируя количествен-

ное соотношение компонентов можно получить плавкую добавку с необходимыми технологическими свойствами для конкретного кристаллического наполнителя.

С учетом фактора безопасности (чувствительности) и технологичности (температуры плавления) для взрывчатых систем с октогеном и CL-20 были выбраны плавкие связующие добавки, содержащие производные нитротриазолов и их эвтектические сплавы с 20 % НФФ; для ЛКВС с НТО и ТАТБ – плавкие связующие, включающие НФФ до 80 %.

Результаты исследований методом DSC приведены в табл. 1, табл. 2, на рис. 2 и рис. 3. Параметр  $T_n$  соответствует экстремуму теплового эффекта,  $Q_e$  – величине эффекта (знак «+» означает выделение тепла, знак «-» – поглощение).

Табл. 1. Взрывчатые системы с CL-20 и HMX

Плавкая добавка с НФФ 20 %	CL-20		HMX	
	$T_n$ , °C	$Q_e$ , Дж/г	$T_n$ , °C	$Q_e$ , Дж/г
ТНТ	56,6	-42,4	59,9	-32,2
	224,7	+1079,0	297,7	+1048,1
ДНП	42,3	-19,9	48,9	-48,3
	225,9	+1749,3	276,7	+1253,2
2МеЗН	73,5	-4,1	77,2	-4,8
	255,7	+2375,4	279,7	+1399,8
tBuЗН	85,6	-39,8	89,7	-51,2
	225,4	+1498,2	279,2	+1115,3
ЭОМ	52,1	-58,1	55,3	-85,1
	225,4	+1648,7	277,3	+1193,5
МеЗН	55,9	-27,2	57,2	-30,8
	224,7	+2086,7	276,7	+712,5

Табл. 2. Взрывчатые системы с НТО и ТАТБ

Плавкая добавка с НФФ 80 %	НТО		ТАТБ	
	$T_n$ , °C	$Q_e$ , Дж/г	$T_n$ , °C	$Q_e$ , Дж/г
ТНТ	78,9	-27,3	83,3	-30,4
	278,9	+910,9	237,7	-199,1
ДНП	95,7	-12,8	92,6	-47,1
	274,1	+697,2	231,3	-236,8
МеЗН	93,5	-23,3	81,2	-34,5
	273,2	+712,1	225,9	-373,1
ЭОМ	90,2	-13,1	99,8	-41,4
	275,2	+723,4	240,6	-193,5
tBuЗН	92,1	-29,3	90,3	-42,6
	280,6	+565,9	246,6	-143,6
2МеЗН	92,7	-23,9	89,2	-29,5
	269,8	+748,1	226,4	-278,1
			390,3	+236,1

Количество тепла, выделяющегося в результате пиролиза композиционной взрывчатой системы является оценочной характеристикой, позволяющей составлять предварительный прогноз о работоспособности того или иного состава. Первое место по количеству продуцируемого системой тепла в составах с

октогеном, занимает 2МеЗН (рис. 2) и эвтектический сплав 2МеЗН/НФФ 80/20 (табл. 1).

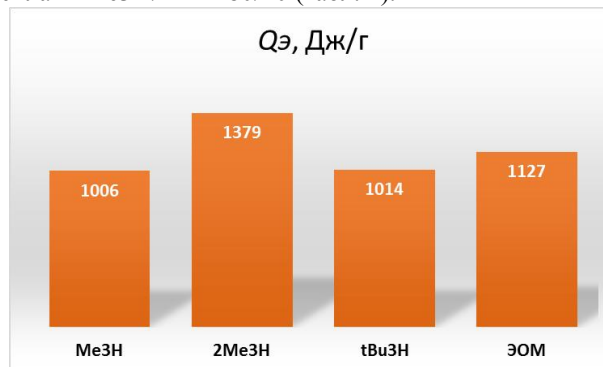


Рис. 2. Параметры  $Q_e$  для ЛКВС с HMX

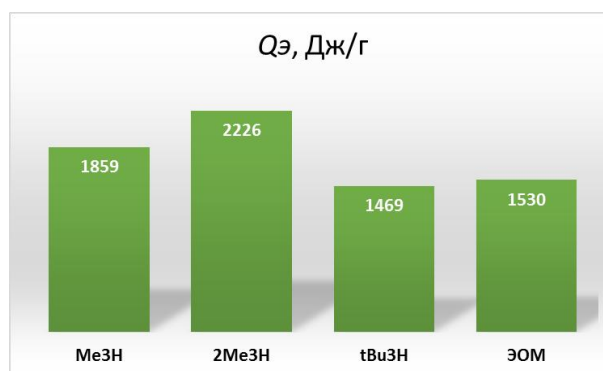


Рис. 3. Параметры  $Q_e$  для ЛКВС с CL-20

Однако, как было показано в [5], октоген плохо совместим с расплавленным 2МеЗН, что в целом отрицательно сказывается на стабильности композиций. Химическая стабильность других составов с HMX и производными нитротриазолов (МеЗН, ЭОМ и tBuЗН) оказалась достаточно высокой: суммарный объем выделившихся газов, при испытании по ампульно-хроматографической методике, составил 0,05 см<sup>3</sup>/г.

На втором месте по величине параметра  $Q_e$  находится эвтектический сплав динитразапентана с НФФ (табл. 1), но температура плавления добавки слишком низка (менее 50 °C). Следующими по величинам экзотермических эффектов являются ЭОМ, tBuЗН и их эвтектические сплавы ЭОМ/НФФ 80/20, tBuЗН/НФФ 80/20; добавки с третбутил-3-нитро-1,2,4-триазолом более тугоплавкие (более 85 °C). Следовательно, связующие добавки с этоксиметил-3-нитро-1,2,4-триазолом не только более «теплотворны» в ЛКВС с HMX, но и более технологичны.

Согласно данным табл. 2, любая из предложенных связующих добавок не подходит для композиций с ТАТБ. Результаты измерений методом DSC иллюстрируют отсутствие необходимого взаимодействия (синергизма) высокоэнергетических материалов. Процессы разложения связующей добавки и ТАТБ протекают последовательно с большой температурной разницей (более 140 °C), поэтому не влияют друг на друга.

Для составов с CL-20 наиболее эффективны 2МеЗН и 2МеЗН/НФФ 80/20 (рис.3, табл. 1). Следующим по величине  $Q$ , является МеЗН и его эвтектический сплав МеЗН/НФФ 80/20, имеющий приемлемую температуру плавления ( $\approx 56$  °С). Из оставшихся новых плавких добавок предпочтительнее ЭОМ и ЭОМ/НФФ 80/20, так как tBuЗН и tBuЗН/НФФ 80/20 имеют более высокую температуру плавления и меньшее количество тепла в композициях с CL-20.

Во взрывчатых составах с нитротриазолоном лучше всего проявила себя плавкая эвтектическая добавка с традиционным материалом ТНТ (табл. 2, рис. 4).

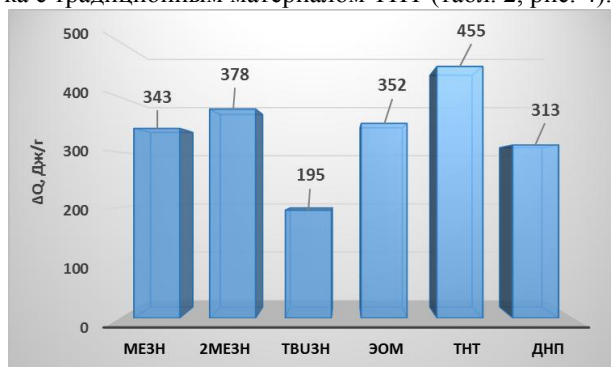


Рис. 4. Гистограмма величин  $\Delta Q$  для ЛКВС с НТО

Самые низкие показатели у tBuЗН/НФФ 20/80. Остальные эвтектические сплавы производных нитротриазола с динитрофуразанилфуроксаном дали приблизительно одинаковые результаты. Недостатком можно считать высокую температуру плавления всех добавок с 80 % НФФ. В этом случае необходимо уменьшить содержание НФФ, либо использовать в ЛКВС с НТО плавкие связующие добавки на основе производных нитротриазола и тротила.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложены новые малочувствительные плавкие связующие добавки для литевых композиционных взрывчатых систем. Результаты экспериментов показали, что для композиций с гексанитрогексаазаизовюрцитаном предпочтительными являются плавкие добавки 1-метил-3-нитро-1,2,4-триазол и его эвтектический сплав с динитрофуразанилфуроксаном (20 %), для композиций с октогеном лучше использовать этоксиметил-3-нитро-1,2,4-триазол и его сплав с НФФ (20 %).

В дальнейшем необходимо расширять компонентную базу малочувствительных плавких добавок на основе производных нитротриазола за счет традиционных материалов (ТНТ, ДНП и т.п.)

Работа выполнена в рамках проекта № 0385-2018-0009 при использовании приборной базы Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Талавар, М.Б. Новые тенденции в области создания перспективных высокоэнергетических материалов / М.Б. Талавар, Р. Сивабалан, М. Анниппан, Г.М. Горе, С.Н. Астана, Б.Р. Гандхе // Физика горения и взрыва. – 2007. – Т. 43. – № 1. – С. 72–85.
  2. Взрывчатые вещества. Т.2. Взрывчатые вещества. Основные свойства. Технология изготовления и переработки / под ред. Л. В. Фомичевой. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2007. – 452 с.
  3. Энергетические конденсированные системы. Краткий энциклопедический словарь / под ред. Б.П. Жукова. – М.: Янус К, 2000. – 596 с.
  4. Комарова, М.В. Термические свойства двухкомпонентных расплавов нитрофуразанилфуроксана /М.В. Комарова, А.Г. Вакутин, Н.В. Козырев, С.Г. Ильясов // Южно-сибирский научный вестник. – 2017. – № 4. – С. 135 – 139.
  5. Комарова, М.В. Бинарные системы производных нитротриазола и нитрофуразанилфуроксана /М.В. Комарова, А.Г. Вакутин, Н.В. Козырев, С.Г. Ильясов // Южно-сибирский научный вестник. – 2018. – № 3. – С. 33 – 38.
  6. ГОСТ РФ 4545-88 Вещества взрывчатые бризантные. Методы определения характеристик чувствительности к удару / М.: Издательство стандартов, 1988. – 17 с.
  7. ГОСТ Р 50835-95 Вещества взрывчатые бризантные. Методы определения характеристик чувствительности к трению при ударном сдвиге / М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 13 с.
  8. Буржава, А.В. Исследование термического распада и горения 3,4-бис(4,-нитрофуразан-3,-ил)-2-оксафуразана (DNTF) / А.Б. Буржава, В.П. Синдицкий, А.Б. Шереметов // Успехи химии и химической технологии. – 2011. – Т. XXV. – № 12. – С. 72–78.
  9. Wang, Q.-H. “A New Melt-cast Explosive Formulation”, *Energetic Materials*, vol. 12, no. 1, pp. 46–49, 2004.
  10. Суханов, Г.Т. Реакции производных 3-нитро-1,2,4-триазола с алкилирующими агентами. Сообщение 1. Алкилирование в присутствии щелочи / Г.Т. Суханов, А.Ю. Лукин // Химия гетероциклических соединений. – 2005. – № 7. – С. 1020–1025.
  11. Суханова, А.Г. Реакции производных 3-нитро-1,2,4-триазола с алкилирующими агентами. 6. Алкилирование нейтрального гетероцикла спиртами в кислых средах / А.Г. Суханова, Г.В. Сакович, Г.Т. Суханов // Химия гетероциклических соединений. – 2008. – № 11. – С. 1680–1687.
  12. Суханов, Г.Т. Трет-бутирование 3-нитро-1,2,4-триазола в присутствии каталитических количеств серной кислоты / Г.Т. Суханов, А.Г. Суханова, К.К. Босов, Ю.В. Филиппова, В.А. Истомина, И.А. Крупнова // Южно-сибирский научный вестник. – 2017. – № 4. – С. 182 – 184.
  13. Сакодынский, К.И. Аналитическая хроматография / К.И. Сакодынский, В.В. Бражников / М.: Химия, 1993. – 464 с.
  14. Корсунский, Б.Л. Методологические проблемы определения термической стабильности взрывчатых материалов / Б.Л. Корсунский, Г.Б. Манелис, Г.М. Назин, П.Н. Столяров // Российский химический журнал. – 2007. – Т. 41. – № 4. – С. 37–50.
  15. Васильева, А.А. Получение и некоторые свойства сфероидального CL-20 / А.А. Васильева, С.А. Душенок, А.А. Котомкин, Д.В. Дашко // Известия СПбГТИ (ТУ). – 2017. – № 21 (47). – С. 33–38.
- 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](mailto:mv10mv@mail.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](mailto:alex-wakutin@mail.ru).
- 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: [iphct@rambler.ru](mailto:iphct@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: [kozyrev@ipcet.ru](mailto:kozyrev@ipcet.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: [ipcet@mail.ru](mailto:ipcet@mail.ru)

# PROSPECTS OF USING NEW FUSIBLE ADDITIVES IN COMPOSITE EXPLOSIVE SYSTEMS

**M.V. Komarova, A.G. Vakutin, M.V. Kazutin, N.V. Kozyrev, G.T. Sukhanov**

*Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk*

**Abstract**—The safety problems of production and exploitation of powerful melt-cast composite explosives require the replacement of the conventional fusible binders—trotyl and dinitrazepentane—by less sensitive high-energy materials. Insensitive derivatives of 3-nitro-1,2,4-triazole (1-,2-methyl, tert-butyl-, ethoxymethyl-) and their eutectic melts with bisnitrofurazanyl furoxane can be employed as such additives. Explosive composites containing HMX, hexanitrohexaazaisowurtzitane, nitrotriazolone, triaminotrinitrobenzene, and fusible additives based on nitrotriazolone derivatives were characterized herein by differential scanning calorimetry (DSC). For composite explosive systems based on HMX, the optimum options were ethoxymethyl-3-nitro-1,2,4-triazole and its eutectic melt with bisnitrofurazanyl furoxane (80/20 ratio), whereas for composite explosives based on hexanitrohexaazaisowurtzitane, the optimum option was 1-methyl-3-nitro-1,2,4-triazole and its eutectic mixture with bisnitrofurazanyl furoxane (80/20 ratio).

*Index terms: explosives, nitrotriazole derivatives, fusible binder additives.*

## REFERENCES

1. Talavar, M.B. New tendencies in the development of promising high-energy materials / M.B. Talavar, R. Sivabalan, M. Anniyappan, G.M. Gore, S.N. Astana, B.R. Gandhe // *Fizika Goreniya i Vzryva*. – 2007. – vol. 43. – no. 1. – pp. 72–85.
2. Explosives. V.2. Explosives. Basic Properties. Fabrication and processing Technology / Ed. L.V. Fomicheva. – Sarov: RFNC-VNIIEF, 2007. – 452 p.
3. Energeticheskiye kondensirovannyye systemy [Energetic condensed systems]. Kratkiy entsiklopedicheskiy slovar [Brief encyclopedia] / B.P. Zhukov et al.; Ed. B.P. Zhukov. – 2<sup>nd</sup> Edition, Revised, – M.: Yanus K, 2000. – 596 p.
4. Komarova, M.V. Thermal properties of binary melts of nitrofurazanyl furoxane / M.V. Komarova, A.G. Vakutin, N.V. Kozyrev, S.G. Ilyasov // *South-Siberian Scientific Bulletin*. – 2017. – No. 4. – p. 135 – 139.
5. Komarova, M.V. Binary systems of nitrotriazole and nitrofurazanyl furoxane derivatives / M.V. Komarova, A.G. Vakutin, N.V. Kozyrev, S.G. Ilyasov // *South-Siberian Scientific Bulletin*. – 2018. – no. 3. – pp. 33 – 38.
6. GOST RF 4545-88 Explosives, high. Sensitivity characteristics determination for impact / M.: Izdatelstvo Standartov, 1988. – 17 p.
7. GOST R 50835-95 Explosives, high. Methods for determination of sensitivity characteristics to friction at impact displacement / M.: Izdatelstvo Standartov, 1996. – 13 p.
8. Burzhava, A.V. Issledovaniye termicheskogo raspada i goreniya 3,4-bis(4.-nitrofurazan-3-yl)-2-oxafurazan (DNTF) [Study of thermal decomposition and combustion of 3,4-bis(4.-nitrofurazan-3-yl)-2-oxafurazan (DNTF)] / A.V. Burzhava, V.P. Sinditskiy, A.B. Sheremetev // *Uspekhi Khimii i Khimicheskoy Tekhnologii* [Journal]. – 2011. – V. 25. – No. 12. – p. 72–78.
9. Wang, Q.-H. “A New Melt-cast Explosive Formulation”, *Energetic Materials*, vol. 12, no. 1, pp. 46–49, 2004.
10. Sukhanov, G.T. Reactions of 3-nitro-1,2,4-triazole derivatives with alkylating agents. Communication I. Alkylation in the presence of alkali / G.T. Sukhanov, A.Yu. Lukin // *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. – 2005. – no. 7. – pp. 1020–1025.
11. Sukhanova, A.G. Reactions of 3-nitro-1,2,4-triazole derivatives with alkylating agents. 6. Alkylation of the neutral heterocycle with alcohols in acidic media / A.G. Sukhanova, G.V. Sakovich, G.T. Sukhanov // *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. – 2008. – no. 11. – pp. 1680–1687.
12. Sukhanov, G.T. Tert-butylation of 3-nitro-1,2,4-triazole over catalytic amounts of sulfuric acid / G.T. Sukhanov, A.G. Sukhanova, K.K. Bosov, Yu.V. Filippova, V.A. Istomina, I.A. Krupnova // *South-Siberian Scientific Bulletin*. – 2017. – no. 4. – pp. 182 – 184.
13. Sakodynskiy, K.I. Analytical Chromatography / K.I. Sakodynskiy, V.V. Brazhnikov / M.: Khimiya Publisher, Moscow, 1993. – 464 p.
14. Korsunskiy, B.L. Methodological problems of determining thermal stability of explosive materials / B.L. Korsunskiy, G.B. Manelis, G.M. Nazin, P.N. Stolyarov // *Russian Journal of General Chemistry*. – 2007. – v. 41. – no. 4. – pp. 37–50.
15. Vasilyeva, A.A. Synthesis and some properties of spheroidal CL-20 / A.A. Vasilyeva, S.A. Dushenok, A.A. Kotomkin, D.V. Dashko // *Bulletin of S.-P.STI*. – 2017. – no. 21 (47). – pp. 33–38.

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

*Vakutin Alexey Gennadyevich – Candidate of Engineering Sciences, Research Scientist, Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), tel.: (3854)301671, e-mail: [alex-wakutin@mail.ru](mailto:alex-wakutin@mail.ru).*

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

*Kozyrev Nikolay Vladimirovich – Head of the 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), tel.: (3854)305805, e-mail: [kozyrev@ipcet.ru](mailto:kozyrev@ipcet.ru).*

*Sukhanov Gennady Timofeyevich – Head of the Laboratory of Chemistry and Technology of High-Energy Azoles, Dr. (Engin.), Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), tel.: (3854)301845, e-mail: [ipcet@mail.ru](mailto:ipcet@mail.ru).*