

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

УСПЕХИ
В ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОЙ
ТЕХНОЛОГИИ

Том XXXVII

№ 10

Москва
2023

УДК 66.01-52
ББК 24. 35
У78

Рецензент:
Российский химико-технологический университет
имени Д. И. Менделеева

Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том XXXVII,
У78 № 10 (272). – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2023. – 113 с.

В сборник вошли статьи по актуальным вопросам в области теоретической и экспериментальной химии.

Материалы сборника представлены для широкого обсуждения на XIX Международном конгрессе молодых ученых по химии и химической технологии «УСChT-2023», XXXVII Международной конференции молодых ученых по химии и химической технологии «МКХТ-2023», ряде международных и российских конференций, симпозиумов и конкурсов, а также на интернет-сайтах.

Сборник представляет интерес для научно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов химико-технологических вузов.

УДК 66.01-52
ББК 24. 35

Костин Н.А., Костин Д.А., Юдин Н.В. Скрининг новых бимолекулярных кристаллов методами ИК-спектроскопии	43
Кузнецова А.Е., Нгуен К.Т., Рудаков Г.Ф., Синдицкий В.П. Синтез и свойства 3-азидо-6-алкокси-1,2,4,5-тетразинов.....	46
Манахова Е.С., Чепурной А.О., Колесов В.И., Синдицкий В.П., Вацадзе И.А., Далингер И.Л. Определение термохимических характеристик и скорости горения 4-диазо-3,5-динитропиразола	50
Мельникова Л.Я., Синдицкий В.П., Смирнова А.Д, Юдин Н.В., Коннов А.А. Особенности термического разложения соединений, содержащих азо- и азокси- группы	52
Некрутенко Р.Е., Юдин Н.В. Использование метана и неона при детектировании ароматических нитросоединений методом хромато-масс-спектрометрии в режиме отрицательной химической ионизации	56
Юрков А.В., Левшенков А.И. Методика определения детонационной способности энергонасыщенных материалов в зарядах пониженной плотности	59
Бедило Н.М., Давидова А.А., Колесова В.Ю., Мельников Н.О. Термический анализ древесины, пропитанной препаратом на основе борной кислоты и моноэтаноламина	62
Григорова В.В., Мосолов А.С., Акинин Н.И. Разработка алгоритма определения достаточности технических средств и мер по обнаружению аварийных ситуаций	65
Дмитриев Н.В., Акинин Н.И. Влияние оксида меди (II) на чувствительность к удару окфола-3,5.....	70
Колесова В.Ю., Бедило Н.М., Мельников Н.О. Термоанализ древесины, пропитанной диаммонийфосфатом и карбамидом	72
Лукашова Д.Н., Райкова В.М., Акинин Н.И. Расчетные методы прогнозирования температуры вспышки по давлению насыщенного пара углеводородов и их смесей	76
Солодухин Е.С., Шушпанов А.Н., Дмитриев Н.В. Игданит как реперная точка для новых модельных систем аммиачная селитра/биодизель	80
Стеценко И.А., Акинин Н.И. К вопросу об оценке пожарного риска химической лаборатории с применением программного продукта Fenix+	83
Степанов М.Е., Султанов Е.В., Булушев Д.А., Мельников Н.О., Панфилов С.Ю. О разработке способа утилизации полуфабрикатов промышленных эмульсионных взрывчатых веществ	86

УДК: 662.221.4

Солодухин Е.С., Шушпанов А.Н., Дмитриев Н.В.

Игданит как реперная точка для новых модельных систем аммиачная селитра/биодизель

Солодухин Егор Сергеевич, аспирант 1-го года обучения кафедры Техносферной безопасности, e-mail: egor1998_1974phesx@mail.ru

Шушпанов Александр Николаевич, к.т.н., доцент кафедры Техносферной безопасности

Дмитриев Никита Викторович, аспирант 3-го года обучения кафедры Техносферной безопасности
ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева»

Россия, Москва, 125047, Миусская площадь, дом 9.

Данная работа описывает начальный этап длительного цикла исследований новых смесевых составов взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры, в которых в качестве горючего применяется биодизельное топливо. Для получения реперной точки в данном цикле работ был проведен анализ смеси аммиачной селитры и дизельного топлива с массовым соотношением компонентов 95,5 % к 4,5 %.

Ключевые слова: взрывчатые вещества, аммиачная селитра, биодизель, пожаровзрывоопасность

Igdanite as a reference point for new model systems ammonium nitrate/biodiesel

Solodukhin E.S., Shushpanov A.N., Dmitriev N.V.

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

This work describes the initial stage of a long cycle of studies for new ammonium nitrate-based explosives mixtures, in which biodiesel is used as fuel. To obtain a reference point in this cycle of work an analysis was carried out for a mixture of ammonium nitrate and diesel fuel with a component's mass ratio of 95.5 % to 4.5 %.

Keywords: explosives, ammonium nitrate, biodiesel, fire and explosion hazard

Введение

Взрывчатыми веществами (ВВ) называют химические вещества, способные к быстрому окислительному превращению, сопровождаемому выделением энергии и образованием сжатых газов, могущих производить работу. Разрушительную способность ВВ можно охарактеризовать избыточным давлением ударной волны и скоростью детонации [1]. В период с 2014 г. по 2017 г. количество используемых ВВ увеличилось на 8 млн тонн с 69 млн тонн до 77 млн тонн, что свидетельствует о стабильном росте данного рынка [2]. Одним из самых распространенных и широко используемых ВВ является смесь аммиачной селитры и дизельного топлива (АСДТ). В этой смеси аммиачная селитра используется в качестве окислителя и адсорбента, а топливо является горючим для ВВ. АСДТ, как правило, состоит из 94,5 масс. % пористой аммиачной селитры и 5,5 масс. % дизельного топлива. Основными преимуществами этого ВВ является низкая себестоимость и простой технологический процесс производства.

АСДТ можно отнести к классу неидеальных взрывчатых веществ, которые характеризуются пористой структурой, низкой плотностью и имеют разделение молекул окислителя и топлива, ввиду чего они могут формировать отдельные фазы веществ. Эти особенности являются причинами относительно низкой скорости детонации неидеальных ВВ, которая, в свою очередь, может приводить к прерыванию или даже отказу детонации [3]. Данный недостаток неидеальных ВВ может стать причиной пожаровзрывоопасности АСДТ при ее длительном хранении, а также ухудшать детонационные параметры и эффективность ВВ. Именно с этой целью на протяжении долгого времени велись разработки

добавок для АСДТ, которые могли бы избавить его от проблем, общих для неидеальных ВВ. По большей части эти попытки были сфокусированы на замене дизельного топлива в составе АСДТ на другие виды топлива.

Предметом нашего исследования является смесевое ВВ на основе пористой аммиачной селитры и биодизельного топлива, полученного из водорослей. В указанных системах пористость селитры влияет на адсорбционную способность по отношению к топливу, что особенно важно для двухкомпонентных смесей. Селитра в виде плотных гранул способна удерживать не более 2 масс. % жидкого топлива, что недостаточно для выделения максимального количества энергии взрыва у такого состава. Большая пористость повышает адсорбционный предел насыщения горючим и снижает плотность ВВ [4]. В то же время замена дизельного топлива на биодизель может значительно снизить пожаровзрывоопасные свойства смесевое ВВ, не снижая при этом экономическую целесообразность производства и детонационные характеристики ВВ. Необходимость полной замены топлива на основе длинноцепных алканов в составе АСДТ на другие органические вещества была вызвана отсутствием добавок к горючему, существенным образом влияющих на детонационные свойства. Более того, ранее представленные результаты с биодизелем показали неплохие результаты детонационных испытаний по сравнению со стандартным дизелем [5].

Важным фактором, влияющим на свойства ВВ, также является возможность их применения в особых климатических условиях (как, например, арктический климат). Возможным источником биодизельного топлива на севере могут являться различные водоросли [6]. Также в последние годы особое

внимание стало уделяться экологическим факторам применения ВВ. Последнее применимо к биодизелю, поскольку он имеет ряд преимуществ по сравнению с нефтяным дизельным топливом по таким показателям, как отсутствие серы и канцерогенных ароматических углеводородов, а также способность к биологическому разложению [7].

Данная работа описывает начальный этап длительного цикла исследований модельных составов, речь пойдет о сравнительном образце, реперной точке, к которой придется обращаться на протяжении относительно длительного времени. Проведено исследование термической и механической чувствительности образца. Следует подчеркнуть, что в сравнительном образце использовалось классическое дизельное топливо без добавления каких-либо биокомпонентов.

Материалы и методы исследования

Для определения показателей пожаровзрывоопасности твердых веществ и материалов существует целый ряд методов анализа, из которых нами были выбраны метод по ГОСТ 12.1.044-89 на установке для определения температурных параметров (ОТП) и метод для определения механической устойчивости к удару на копре по ГОСТ 4545-88, а также негостированное проведение оценки механической устойчивости к удару на приборе №1 для верификации результатов. В качестве объекта исследования была выбрана смесь АСДТ с 95,5 масс. % пористой аммиачной селитры и 4,5 масс.% дизельного топлива.

Определение температурных параметров на установке ОТП допустимо в диапазоне от 25 до 600°C. Прибор ОТП представляет собой вертикальную электропечь с цилиндром, выполненным из кварцевого стекла, на который навиты электронагреватели. Поскольку исследование проводилось с ВВ, для безопасности использовали уменьшенные навески образцов (1 г). Для размещения образца в печи использовали небольшие тигли из тонкой алюминиевой фольги, уменьшенные пропорционально навеске. За искомую температуру принимали минимальную температуру образца, при которой за время выдержки в печи не более 20 мин образец воспламенится, а при температуре на 10°C меньше воспламенение отсутствует [8].

Испытание на чувствительность к удару по ГОСТ основано на действии удара груза определенной массы, падающего с некоторой высоты на слой ВВ определенных размеров, заключенный между стальными поверхностями. Мерой чувствительности служит энергия удара, необходимая для возбуждения взрыва. Испытания на чувствительность к механическому удару производили на копре (прибор №1) [9]. Гранулы с адсорбированным горючим перед опытами измельчили в фарфоровой ступке до порошкообразного состояния. Для испытания использовали навески АСДТ по 20 мг. Падение груза массой 10 кг происходило с высоты 250 мм, с ударом

по навеске ВВ, находящейся между металлическими роликами с направляющей муфтой.

Испытания на чувствительность к удару не по ГОСТ заключались в ударе груза по образцу, помещенному между двумя роликами с направляющей муфтой. Для опытов использовалась серия из 10 навесок массой от 10 до 100 мг. Образцы перед проведением опытов прессовали до давления 40 МПа. Детонацию фиксировали тензометрическим датчиком. Для опытов использовалась та же установка, масса груза также составляла 10 кг, высота падения – 250 мм.

Результаты и обсуждение

На установке ОТП были определены температура воспламенения смеси ВВ, температура самовоспламенения и температура вспышки с задержкой 60 с (Таблица 1). Для проведения опытов печь предварительно нагревали до требуемой температуры. После установления стабильного температурного режима помещали образец в тигле в печь. В случае возгорания образца в течение 20 мин и вспышки в течение 60 с фиксировали температуру печи и рассматривали ее как искомую.

Таблица 1. Результаты определения температурных параметров АСДТ

Показатель	Температура, °С
Температура воспламенения	195
Температура самовоспламенения	335
Температура вспышки с задержкой 60 с	535

Образцы перед проведением экспериментов высушивали в эксикаторе в течение недели.

В ходе экспериментов в случае отсутствия воспламенения наблюдалось интенсивное разложение селитры, следующее за испарением дизельного топлива и плавлением селитры. В то же время при определении температуры вспышки с задержкой 60 с при температуре более 500°C наблюдалась детонация образца.

Существует также способ оценки температуры вспышки путем помещения гильзы с навеской в нагревательный прибор. Нагревание происходит через сплав Вуда внутри прибора. Данный способ позволяет получить отличную воспроизводимость (1 с). Также, ввиду разницы в подходе, значительно отличаются полученные результаты. Температура вспышки при времени задержки вспышки 60 с, полученная таким методом, составила 250 °С для смеси АСДТ [10]. Вопрос приближенности к реальным условиям методики с гильзами/методики на установке ОТП остается дискуссионным вопросом.

Из 25 проведенных опытов на чувствительность смеси АСДТ к удару взрыв наблюдался в 2 случаях. Примечательно, что только в одном из зафиксированных взрывов наблюдалась вспышка. Таким образом, частота взрывов на приборе №1 при

испытаниях с грузом массой 10 кг вычисляется по уравнению (1).

$$X = (2 \cdot 100) / 25 = 8 \% \quad (1)$$

Нижний предел чувствительности АСДТ определяется используемой аммиачной селитрой. Полученная нами частота взрывов при высоте падения груза 250 мм вполне допустима для селитры по ГОСТ 2-2013.

Данные, полученные при изучении механической чувствительности нашего состава АСДТ к удару не по ГОСТ, показали схожую картину. Из 10 проведенных испытаний не наблюдалось ни одной детонации, что говорит о хорошей устойчивости смеси ВВ к ударному воздействию.

Заключение

Полученные нами результаты позволяют установить относительную безопасность выбранного нами состава АСДТ в рамках пожаро- и взрывоопасности. В дальнейшем также планируется определение и сравнение детонационных параметров составов ВВ, как например, скорость детонации, максимальное давление при детонации и образование газов в ходе детонации. Последнее особенно актуально с точки зрения экологии, поскольку одним из основных источников загрязнения окружающей среды ВВ являются оксиды азота, образующиеся при детонации АСДТ. Также остро стоит вопрос о возможности применения составов АСДТ в арктических климатических условиях, с чем, как мы считаем, может помочь замена горючего в составе ВВ.

Таким образом, данные результаты в дальнейшем могут использоваться как реперная точка при изучении новых составов АСДТ, в том числе с заменой дизельного топлива на биодизель, полученный из водорослей.

Список литературы

1. Безопасность жизнедеятельности в химической промышленности / Акинин Н.И., Марина Л.К., Васин А.Я., Чернецкая М.Д., Аносова Е.Б., Гаджиев Г.Г., С. Петербург: Издательство «Лань», 2019. – 448 с.

2. E. Uranchimeg. Modification of ANFO detonation parameters by biowaste addition / E. Uranchimeg, M. Narantsetseg, L. Purev // IOP Conference Series:

Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1019. – 012040.

3. S. I. Jackson. Experimental observations of detonation in ammonium-nitrate-fuel-oil (ANFO) surrounded by a high-speed, shockless, aluminum confiner / S. I. Jackson, Ch. B. Kiyanda, M. Short // Proc. Combust. Inst. 2011. – Vol. 33, № 2. – P. 2219-2226.

4. B. Zygmunt. Influence of Ammonium Nitrate Prills' Properties on Detonation Velocity of ANFO / B. Zygmunt, D. Buczkowski // Propellants Explos. Pyrotech., 2007. – Vol. 32. – P. 411-414.

5. S.A. Resende. Study of non-conventional fuels for explosives mixes / S.A. Resende, V. Costa e Silva, H.M. de Lima // REM Rev. Esc. Minas. 2014. – Vol. 67. – P. 297-302.

6. Shushpanova D. V., Kapralova D. O. Life-cycle assessment of kelp in biofuel production // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1079. – №. 7. – С. 072023.

7. Бердиев. Ш.Н. Биодизель – альтернативный источник энергии / Бердиев Ш.Н., Зиявитдинов Ф.Ж., Фазлидинов Ш.Ж. и др. // Universum: химия и биология, 2019. – № 6 (60).

8. ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 12.12.89 N 3683: дата введения 1991-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004802> (дата обращения: 09.05.2023). – Текст: электронный.

9. ГОСТ 4545-88. Вещества взрывчатые бризантные. Методы определения характеристик чувствительности к удару. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19.09.88 N 3175: дата введения 1989-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004802> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.

10. Куприянов И.Ю. Методы повышения стабильности смесевых порошкообразных и гранулированных ВВ для горной промышленности: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.20 / И.Ю. Куприянов – Москва, 2017. – 103 с.